PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 10. 15. Mai 1919. 20. Jahrgang.

Redaktionsschluß für No. 12 am 24. Mai 1919.

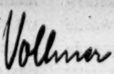
INHALT:

Dem Andenken der im Kriege gefallenen deutschen Physiker.
Karl Vollmer †. S. 217.
Originalmitteilungen:
W. Schottky, Weitere Bemerkungen zum Elektronendampfproblem. S. 220.
A. Landé, Das Serienspektrum des Heliums. S. 228.
H. v. Dechend u. W. Hammer, Szintillation bei Kanalstrahlen. S. 234.
Ad. Schmidt, Magnetische Mittelwerte des Jahres 1918. S. 235.
Berichtigung. S. 235.
Personalien. S. 235.
Vorlesungsverzeichnis f. das Sommersemester 1919. S. 235.

Dem Andenken der im Kriege gefallenen deutschen Physiker.

Karl Vollmer †.

Am 3. Juni 1918[1]) erlitt der Professor für angewandte Physik an der Universität Jena, Dr. ing. Karl Vollmer, den Tod für das Vaterland, indem er als Kapitänleutnant d. R. bei einem Übungsflug mit einem Riesenflugzeug abstürzte und zugleich mit seinem Assistenten Schöning und der ganzen Besatzung verbrannte. So tief schmerzlich dieser traurige Unglücksfall allen seinen Freunden und Anverwandten war, ihm, der mit der ganzen zähen Liebe des Niederdeutschen an seinem Vaterlande hing, ersparte es der schnelle Fliegertod, den äußeren und inneren Zusammenbruch Deutschlands mit zu erleben.



Karl Vollmer wurde am 28. Dezember 1877 als Sohn des Bauunternehmers August Vollmer zu Marne in Holstein geboren. Er studierte, nachdem er das Abiturientenexamen an der Oberrealschule in Kiel gemacht hatte, in München und Berlin und bestand dort die Diplomprüfung mit Auszeichnung. 1902—1906 war Vollmer Assistent am Wärmetechnischen Laboratorium der Technischen Hochschule Berlin, dann am Elektrotechnischen Institut in Danzig. Nach einer Studienreise nach Südamerika war er 1906 bis 1908 bei der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie in der Projektierung und Ausführung von Funkenstationen tätig. 1908 kehrte er nach Danzig zurück, um in dem mir damals unterstellten physikalischen Institut seine Doktorarbeit zu machen.

Die von ihm bearbeitete Aufgabe war

1) Das Erscheinen dieses Nachrufs ist durch äußere Ursachen verzögert.

eine sehr schwierige und umfassende; es galt die für die Anwendung der Poulsen-Generatoren in der drahtlosen Telegraphie so schädlichen Schwankungen in der Wellenlänge zu messen und ihre Ursache festzustellen.

Alle Vorzüge, die ihn als Experimentator in so hervorragendem Maße auszeichneten, traten bei der Arbeit schon voll hervor: Seine große technische Geschicklichkeit, seine Erfindungsgabe, sein unermüdlicher Fleiß, das frische Zupacken beim Versuch, seine Freude an der Überwindung von Schwierigkeiten. In seiner umfangreichen Dissertation[1]) wurde das gestellte Problem restlos gelöst; die Größe der Frequenzschwankungen wurde unter den verschiedensten Umständen gemessen und ihr Zusammenhang mit den Spannungsschwankungen am Lichtbogen klargelegt; damit war der Weg zur Überwindung der durch sie bedingten Schwierigkeiten gewiesen. In der weiteren Entwickelung des Poulsen-Generators ist uns dann das Ausland zuvorgekommen. Die damit ausgerüsteten Großstationen in Amerika, Frankreich usw. arbeiten jetzt so vorzüglich, daß auch mit dem äußerst empfindlichen Schwebungsempfang die Schwankungen der Wellenlänge kaum mehr wahrnehmbar sind. In Deutschland hat man sich leider erst in allerneuester Zeit den Poulsen-Stationen wieder mehr zugewandt.

Nachdem Vollmer 1909 seine Doktorprüfung mit Auszeichnung bestanden hatte, trat er als Angestellter in die Badische Anilin- und Sodafabrik ein, woselbst ihm unter Professor Zenneck die Ausarbeitung des elektrotechnischen Teiles der Stickstoffgewinnung aus der Luft übertragen wurde — eines Problems, dessen hervorragende Bedeutung für unser Vaterland erst jetzt voll zu Tage tritt. Naturgemäß ist von seinen Leistungen in dieser Stellung wenig an die Öffentlichkeit gedrungen.

1) Jahrb. d. drahtl. Telegr. 3, 117, 1910.

Als 1911 durch den Fortgang von Konrad Simons nach Argentinien die Professur für angewandte Physik in Jena frei wurde, wurde Vollmer, trotzdem er wissenschaftlich noch wenig hervorgetreten war, an die Stelle berufen: das Vertrauen der Fakultät wurde nicht getäuscht. In den wenigen Jahren, die ihm hier zu wirken vergönnt war, hat er als Institutsleiter und Lehrer Hervorragendes geleistet. Sehr bald wurde er seinem Schülerkreis ein außerordentlich beliebter Dozent; sein frischer lebensvoller Vortrag, seine tatkräftige, kameradschaftliche Mitarbeit bei den Übungen und Exkursionen, seine unermüdliche Schaffenskraft, sein glücklicher Optimismus bei den Versuchen rissen die Schüler mit fort und begeisterten sie für den Gegenstand.

Das physikalisch-technische Institut wurde nach seinen Plänen und unter seiner Leitung zu seiner jetzigen stattlichen Größe ausgebaut. Als Spezialität sollte die drahtlose Telegraphie gepflegt werden, deren Aufschwung Vollmer mit Sicherheit voraussah. Die innere Einrichtung wurde wesentlich hierauf zugeschnitten. Als es sich zeigte, daß die vorhandene kleine Antenne für Aufnahmen von Fernstationen nicht ausreichte, beschloß Vollmer sogleich, trotz der beschränkten, ihm zur Verfügung stehenden Mittel den Bau einer Großantenne. Es gelang ihm durch persönliche Arbeit mit der Hilfe von Assistenten, Mechanikerlehrlingen, Studenten in wenigen Wochen eine Antenne von 30—40 m Höhe und 700 m Länge unter den schwierigsten Geländeverhältnissen zu errichten. Die Kosten betrugen nur 8000 M., und hätten bei Übernahme des Baues durch eine Firma sicher das zehnfache erfordert. Die Antenne ist während des Krieges vielfach für militärische Zwecke in Anspruch genommen worden und hat sich vorzüglich bewährt.

Die ihm bei seiner Lehrtätigkeit und den Bauten noch übrig bleibende Zeit widmete Vollmer den Vorarbeiten zu einer ausgedehnten Untersuchung über die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen an der Erdoberfläche, die von der Internationalen Kommission für drahtlose Telegraphie in Brüssel für 1914 in Aussicht genommen war und an der sich die Station Jena in hervorragendem Maße beteiligen sollte.

Es galt vor allem quantitative Registriermethoden für Fernaufnahmen, Verfahren für schnelle Aufnahme von Resonanzkurven auszuarbeiten, Detektoren zu untersuchen und Monate hindurch zu vergleichen. Die Dämpfung der Empfangsantennen wurde in verschiedenen Jahreszeiten und Witterungsverhältnissen gemessen. Alle diese vielversprechenden Arbeiten wurden nicht zu Ende geführt, weil der Ausbruch des Krieges sie jäh unterbrach.

Als Leutnant d. R. im Grenadier-Reg. 5 (Danzig) rückte er sogleich ins Feld und wurde schon nach wenigen Tagen bei Mlawa durch einen Knieschuß schwer verwundet. Aber sobald er sich an Stöcken wieder einigermaßen fortbewegen konnte, suchte er sich eine neue Kriegstätigkeit; sie bot sich bei dem Admiralstab der Marine: er sollte bestimmte feindliche drahtlose Übertragungen suchen, die mit den gewöhnlichen Empfangsmethoden nicht zu finden waren. Trotz monatelanger unermüdlicher Arbeit gelang es ihm nicht, die vermuteten Zeichen zu entdecken, wohl aber hatte die Marine seine Fähigkeiten erkannt, und als Anfang 1915 die Funkentelegraphie bei den Fliegern aufkam, wurde ihm die Aufgabe zu teil, die Flugzeuge der Marine mit geeigneten Apparaten auszurüsten. Das war gerade eine Tätigkeit, die ihm lag: er beherrschte die Funkentelegraphie, war von Hause aus Techniker, so daß er auch die Konstruktion und fabrikmäßige Herstellung übersehen konnte, und — was man vor allem selten mit den anderen Eigenschaften vereint findet — flog auch bei jedem Wetter, so daß er die Apparate selbst erproben konnte. Jahre hindurch hat er so jedes Flugzeug der Marine, das mit Funkentelegraphie ausgerüstet wurde, selbst durchgeprüft, und er hat dabei, wie er mir oft sagte, mehr Flüge gemacht, wie die allermeisten Land- und Seeflieger des Heeres und der Marine.

Seiner rastlosen Tätigkeit ist es zu verdanken, daß die funkentelegraphischen Einrichtungen der Marine mustergültig waren und glänzend funktionierten. Gar mancher deutsche Flieger, den fern von der Küste eine Panne betraf, hat so Vollmer sein Leben zu danken, indem er drahtlos Hilfe herbeirufen konnte. Er selbst setzte sich bei seinen Versuchsfahrten in rücksichtsloser und aufopfernder Weise ein. Kein Wind und keine Gefahr konnten ihn von seinen Versuchsfahrten abschrecken, so ist er mehrfach abgestürzt, aber immer glücklich davongekommen, bis ihn am 3. Juni das Geschick ereilte. Wie beliebt und verehrt „unser Professor" bei seiner Truppe war, bewies die erhebende Leichenfeier am 7. Juni in Warnemünde. Ihr folgte am 11. Juni seine Beisetzung in seinem Heimatsorte Marne in Holstein.

Mit Vollmer ist ein echter deutscher Mann von uns gegangen, erfüllt von rein idealem Streben, von unbedingter Zuverlässigkeit des Charakters, der stets bei allem Tun seine ganze Persönlichkeit einsetzte. Gerade Männer seines Schlages, die besten die Deutschland besaß, sind dem Kriege ja vorzugsweise zum Opfer gefallen, und gerade sie täten uns jetzt so bitter not zur Wiederaufrichtung unseres Vaterlandes.

Max Wien.

(Eingegangen 2. Februar 1919.)

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Weitere Bemerkungen zum Elektronendampfproblem.

Von W. Schottky.

Einleitung. In einer kürzlich in dieser Zeitschrift erschienenen Notiz über „Elektronendampfdruck und Clausius-Clapeyronsche Gleichung“[1]) habe ich gezeigt, daß die von Herrn v. Laue in verschiedenen Arbeiten[2]) aufgestellte neue Formel für die Dampfdichte der Elektronen unmittelbar an der Oberfläche eines Leiters in ihrer Aussage nicht von dem abweicht, was für gewöhnliche Dämpfe aus den bekannten Formeln, nämlich der Clausius-Clapeyronschen Gleichung und den Gasgesetzen folgt[3]).

Kurze Zeit darauf ist auch Herr v. Laue zu derselben Erkenntnis gekommen, wie ich einem mir freundlichst zugesandten Manuskript: „Unter welchen Bedingungen kann man von einem Elektronengas reden?“, entnehme. In dieser neuen Abhandlung[4]) gibt Herr v. Laue demnach zu, daß die alte Vorstellung vom „Elektronengas“ zu derselben Dampfdruckformel führt, wie sein neuer thermodynamischer Begriff der „Elektronenwolke“. Infolgedessen liegt natürlich die Folgerung nahe, daß der Begriff des Elektronengases auch in demselben Umfang thermodynamisch anwendbar ist, wie der der Elektronenwolke. Wie aus dem Schlußpassus seiner Arbeit hervorgeht, hat sich Herr v. Laue zu dieser Folgerung noch nicht entschließen können, und ich betrachte es daher als eine meiner Aufgaben, in dem hier folgenden Beitrag ihn und seine Leser zu dieser Auffassung zu bekehren.

Noch wichtiger aber erscheint mir folgendes: Herr v. Laue hat in seiner neuen Arbeit auch die sehr einfache Ableitung seiner neuen Dampfdruckgleichung gegeben, die von der Gleichgewichtsbedingung für die „Teilchenzahlkoordinaten“ n der freien Energie f in beiden Phasen ausgeht, und die auch mir als die einfachste und klarste erschienen war. Nachdem nun festgestellt ist, daß sich alle diese Überlegungen gar nicht speziell auf den Elektronendampf, sondern ganz allgemein auf eine dampfförmige Phase beziehen, möchte ich schon an dieser Stelle darauf hinweisen, daß sich nach meiner Ansicht durch diese auf Umwegen erfolgte Entdeckung Herrn v. Laues auch für die allgemeine klassische Thermodynamik ein bemerkenswerter Fortschritt ergibt. Einerseits scheint mir, als ob der Gleichgewichtsbedingung $\frac{\partial f}{\partial n} = \frac{\partial f'}{\partial n'}$, die für jede Phase und jeden sonstigen Spezialzustand (Einwirkung von elektrischen Kräften, Schwere usw.) eines Teilsystems innerhalb eines thermodynamischen Gleichgewichts gilt, in der Phasenlehre noch nicht ganz die Stellung eingeräumt wäre, die sie verdient; und was andererseits die neue Form der Dampfdruckgleichung selbst betrifft, so scheint mir der Umstand, daß sie den Druck außer von der Temperatur nur in Abhängigkeit von der freien Energie des festen Systems darstellt, eine besondere Erleichterung bei der Aufstellung theoretischer, speziell statistischer Dampfdruckformeln zu bieten. Ich sehe diese Formel gewissermaßen als eine Verallgemeinerung des Boltzmannschen e-Gesetzes für die Konzentration ν an[1]), die auch in solchen Fällen anwendbar ist, wo nicht nur potentielle, sondern auch kinetische Energieunterschiede in Frage kommen. Ferner ist natürlich diese Formel wegen ihrer rein thermodynamischen Ableitung von den speziellen Annahmen der kanonischen Verteilung unabhängig und z. B. auch in Verbindung mit Quantenansätzen brauchbar.

Ferner möchte ich darauf aufmerksam machen, daß, wenn man in der v. Laueschen Formel die freie Energie statistisch durch die Energiefunktion der festen Phase ausdrückt, man sehr nahe an allgemeine Beziehungen für die Verteilungsfunktion herankommt, wie sie von Boltzmann und Gibbs aufgestellt sind; am allernächsten aber an Formeln von P.

1) Diese Zeitschr. **20**, 45 ff., 1919.

2) M. v. Laue, Glühelektronen. Jahrb. d. Radioakt. u. Elektr. **15**, 205—256, 1918; Die Entropiekonstante der Glühelektronen, ebenda S. 257—270; Die Rolle der Bildkraft in der Thermodynamik der Glühelektronen, ebenda S. 301—305.

3) Anm. bei der Korrektur. Diese Fassung meines Resultats unterliegt wohl nicht mehr dem Bedenken, das Herr v. Laue in einer inzwischen in dieser Zeitschrift **20**, 202, 1919) erschienenen Entgegnung auf meine Notiz geltend macht, nämlich daß ich, um die Gasähnlichkeit des Elektronengases aus dem Beweise der Gleichwertigkeit der neuen Dampfdruckformel mit der Clausius-Clapeyronschen Gleichung zu deduzieren, für die Elektronen bereits stillschweigend die Gasgesetze vorausgesetzt hätte. Was ich im übrigen zu den weiteren dort angeschnittenen Streitfragen zu sagen habe, findet sich bereits alles in den folgenden Ausführungen.

4) Ann. d. Phys. **58**, 1919 (erscheint demnächst). Im folgenden zitiert als „Annalenarbeit“.

1) Dies Gesetz ist bekanntlich von O. Stern zur Ableitung einer wichtigen Dampfdruckformel benutzt worden (diese Zeitschr. **14**, 629, 1913).

Debye[1]), wie er sie ebenfalls zur Berechnung des Elektronendampfdruckes aus der Gibbsschen Auffassungsweise abgeleitet hat.

Man sieht, es handelt sich da um eine sehr vernünftige und bisher noch nicht voll ausgenutzte Verknüpfung von Thermodynamik und Statistik, in der Art, daß man thermodynamisch bereits das gesamte System so weit als möglich unterteilt[2]), auf diese Weise alle Beziehungen ableitet, die abzuleiten sind, und dann erst auf die thermodynamisch nicht mehr unterteilbaren Systeme die Statistik anwendet, um so zu einer theoretischen Berechnung aller meßbaren Zustandsvariabeln (insbesondere der Verteilungszahlen) aus den Elementargesetzen zwischen den kleinsten Teilen zu gelangen.

Obgleich ich, wie gesagt, diesen Ausblick auf eine gemischt-statistische Behandlungsweise des Verteilungsproblems für die wichtigste Konsequenz der v. Laueschen Arbeit halte, muß ich mich hier doch mit diesen Andeutungen begnügen, denn es sind noch eine ganze Reihe von anderen Punkten, die ich zu besprechen habe, und die allerdings hier und da das Problem berühren. Ich hatte schon eine systematische Darstellung begonnen, als ich die neue Arbeit von Herrn v. Laue erhielt, die mich der Notwendigkeit verschiedener Auseinandersetzungen überhob; ich möchte deshalb nunmehr einiges von dem, was ich noch zu dem Elektronendampfproblem zu sagen habe, unter möglichst geringer Verschwendung von Systematik, in zwangloser Form, zum besten geben. Voraussetzung für das Verständnis ist hierbei für den Leser eine gewisse Kenntnis der v. Laueschen Arbeiten, sowie vielleicht dessen, was ich in meinem „Bericht über thermische Elektronenemission" im Jahrbuch der Radioakt. u. Elektr. **12**, S. 147—205, 1915 veröffentlicht habe (insbesondere §§ 7, 14 und 15).

1. Das Elektronengas.

Die frühere Auffassung des Elektronengases entsprach der eines „Gases im Schwerefelde", d. h., es wurde jedes Raumelement des Elektronengases, innerhalb dessen sich das Potential nicht merklich änderte, als ideales Gas mit den normalen Druck- und Energieeigenschaften betrachtet, nur mit einem zusätzlichen Energieglied, das sich auf die potentielle Energie der betrachteten Elektronen im äußeren Felde bezog. Diese Auffassung ist jetzt von Herrn v. Laue schließlich auch mit gewissen Einschränkungen als richtig anerkannt worden. Auf die Einschränkungen komme ich gleich zurück.

Die Vorstellung einer „Elektronenwolke" nach Herrn v. Laue weicht von dieser einfachen Vorstellung ab. Er betrachtet nicht Raumelemente konstanten elektrischen Potentials als Einheiten, sondern viel größere, in denen das Potential alle möglichen Werte annimmt. Speziell wählt er solche Gebilde als Einheiten, in denen das ganze elektrische Feld durch die betrachteten Teilchen selbst bedingt ist, so daß also keine „äußeren Felder" auf das System wirken. Das Eigentümliche der v. Laueschen Betrachtungsweise ist hierbei noch, daß die Elektronen immer von einer leitenden Schicht umgeben sind, die infolge der auf ihr influenzierten Ladungen das elektrische Feld der Elektronen nach außen kompensiert. Die Ladungen auf dieser Schicht werden — ohne das dies ganz deutlich hervorgehoben wird — mit zum System gerechnet, sie werden bei einer Änderung des Volumens mit verschoben, die an ihnen geleistete Arbeit wird zu der am System geleisteten Arbeit zugezählt usw.

Zweifellos ist eine derartige Definition einer „Elektronenwolke" (in Spezialfällen einer „Elektronenschicht") möglich, und in der Tat führte diese Auffassung zu richtigen Resultaten, die sogar den nicht zu unterschätzenden Vorzug der (formalen) Neuheit haben. Nachdem sich aber gezeigt hat, daß dieses formal neue Resultat auf andere Weise viel einfacher abgeleitet werden kann, muß man sich doch fragen, ob die Beibehaltung dieser komplizierten Vorstellung ersprießlich und notwendig ist. Man wird dies, wie mir scheint, verneinen müssen, wenn sich zeigt, daß mit der älteren Vorstellung komplizierte Verhältnisse, die der neuen Vorstellung große Schwierigkeiten machen, einfach zu durchschauen sind, und wenn man zeigen kann, daß die Einschränkungen, die für die alte Vorstellung gelten, für die neue in demselben Maße Platz greifen.

Diesen zweiten Punkt wollen wir zuerst diskutieren. Die Bedingung, daß sich das Potential innerhalb des betrachteten Elementarvolumens „nicht merklich ändern soll", können wir genauer und ganz allgemein dahin präzisieren: „Die potentiellen Energieunterschiede der Elektronen an verschiedenen Stellen des betrachteten Elements müssen klein sein gegen die mittlere kinetische Energie der Elektronen". Das gilt auch bei der Anwesenheit äußerer Felder; fehlen diese, so geht diese allgemeine Bedingung in die speziellen Beziehungen zwischen Dichte, Volumgröße und Temperatur über, die

1) P. Debye, Zur Theorie der Elektronen in Metallen, Ann. d. Phys. **33**, 441—489, 1910.
2) S. a. w. u.

v. Laue formuliert hat[1]). Wenn nun gezeigt wird, daß die Abmessungen (z. B. dünne Schichten zwischen Potentialflächen) der Elementarvolumina, die diesen Bedingungen genügen sollen, u. U. sehr klein sein müssen, so ist damit keinerlei Einschränkung der Betrachtungsweise gegeben; diese tritt erst dann ein, wenn die Volumina so klein gewählt werden müssen, daß nur noch ganz wenige Teilchen in ihnen enthalten sind, auf die eine thermodynamische Durchschnittsbehandlung nicht mehr anwendbar ist.

(Anm. bei der Korrektur. Wenn man von dem betrachteten System annehmen kann, daß es die Eigenschaft kanonischer Verteilung besitzt, ist eine thermodynamische Behandlung sogar dann noch zulässig, wenn es sich nur um eine kleine Anzahl von Teilchen handelt. Formal kann man z. B. in einem hoch evakuierten Rohr, das nur noch ein einzelnes (geladenes oder ungeladenes) Teilchen enthält, sehr wohl noch von einer gewissen mittleren Temperatur, Energie, Volum, Druck, Arbeit usw. des darin enthaltenen „Gases" reden, und zwischen diesen Größen bestehen alle bekannten Gasbeziehungen. Man kann sogar noch von verschiedenen mittleren Drucken, Dichten usw. an verschiedenen Stellen des Rohres reden, wenn das darin enthaltene Teilchen irgendwelchen konstanten äußeren Potentialkräften unterworfen ist. Die thermodynamische Unterteilung geht darin so weit, daß kleine Elemente des Vakuumrohres, in die das Teilchen nur ab und zu einmal hineinkommt, als thermodynamische Systeme betrachtet werden, und auch hier kann man noch die Gesetze über mittlere Dichte, Druck, Temperatur usw. aus den thermodynamischen Gleichgewichtsbedingungen der Teilsysteme untereinander ableiten. In allen mittleren Eigenschaften benimmt sich das System dabei wie ein „Gas im Schwerefelde".

In solchen Fällen ist nach meiner Ansicht die Grenze für die Möglichkeit der thermodynamischen Isolierung eines Systems nur dadurch gegeben, daß sich die „äußeren Koordinaten" (z. B. die Lage der wirksamen Kraftzentren) nicht mehr „unendlich langsam" und nicht mehr unabhängig von den Einzelwerten der inneren Koordinaten des Systems ändern. Auch diese Auffassung führt also zu der weiter unten angeführten Bedingung, daß die Wirkung der Einzelfelder der nächstbenachbarten Elektronen zu vernachlässigen sein muß, wenn man dem Elektronendampf soll „Gas"- oder „Wolken"-Eigenschaften zuschreiben dürfen.)

1) Annalenarbeit.

Der Fall, daß ein als Gas zu betrachtendes Elementarvolum nur noch wenige Teilchen enthalten darf, kann in unmittelbarer Nähe stark emittierender Flächen eintreten. So berechnet Herr v. Laue für die Grenzdichte von Wolfram bei 2400°, daß eine Kugel, die die aufgestellten Bedingungen erfüllen soll, so klein sein müßte, daß nur fünf Elektronen darin enthalten sind. Ich werde dieses Resultat später etwas einschränken müssen. Wenn es aber auch zutrifft, was würde es in der Vorstellungsweise der alten Auffassung besagen? Es würde besagen, daß wir es hier mit Elektronendichten zu tun haben, die so groß sind, daß bei einer geringen weiteren Steigerung bereits die Felder der vier nächstbenachbarten Elektronen einem im Innern der Kugel liegenden Elektron eine potentielle Energie erteilen, die gegen die mittlere kinetische Energie im idealen Gaszustand nicht zu vernachlässigen ist. Das bedeutet also eine von der Struktur der Einzelfelder (und von der Elementarladung) abhängige Abweichung vom idealen Gaszustande, und man sieht sofort, daß, wenn dieser Zustand vorliegt, auch die Betrachtungsweise des Herrn v. Laue, die ja ausdrücklich auf der Möglichkeit der Mittelung des elektrischen Feldes und der Annahme Maxwellscher Geschwindigkeitsverteilung, demnach auf der Vernachlässigung der Strukturwirkungen der Elementarfelder aufgebaut ist, hinfällig wird.

Also: Die Anwendbarkeit der v. Laueschen Vorstellungsweise unterliegt den gleichen Einschränkungen wie die alte Vorstellung eines idealen Elektronengases. Oberhalb einer gewissen durch die Temperatur gegebenen Dichte sind die Elektronen weder als ideales Gas, noch als „Wolke" im v. Laueschen Sinne zu betrachten, sondern die mittlere kinetische Energie eines einzelnen Elektrons weicht von der eines einatomigen Gases ab, der Maxwellsche Verteilungssatz, die Boltzmannsche e-Beziehung zwischen Dichte und Mittelwert des Potentials hören auf zu gelten, kurz, es wird eine ganz andere Betrachtungsweise notwendig.

Die andere Frage, welche Vorstellung die komplizierteren Fälle besser zu behandeln gestattet, die „Gas"- oder „Wolken"-Vorstellung, werden wir unter den Überlegungen der folgenden Gruppe mit zu behandeln haben.

2. Oberflächenkraftfelder.

Die von Herrn v. Laue angegebene Berechnung der thermodynamischen Eigenschaften einer Elektronenwolke, die an eine metallische Oberfläche grenzt, beruht auf der Voraussetzung, daß in genügender Entfernung von der

Oberfläche das Feld o ist, und daß im Endlichen keine anderen Kräfte wirken als die von den Elektronen und der von ihnen influenzierten Oberflächenladung herrührenden. Ist ein zusätzliches konstantes äußeres Feld vorhanden, so wird der ganze Energieausdruck, die Beziehung zwischen Grenzdichte und Entropie, freier Energie usw. verändert, und wenn gar ein räumlich variables Zusatzfeld etwa in unmittelbarer Nähe der Oberfläche vorhanden ist, so ist gar nicht abzusehen, welche Schwierigkeiten aus der energetischen Trennung des Eigen- und Fremdfeldes, der Berechnung des Feldverlaufs usw. noch erwachsen können.

Bei der „Gas"vorstellung ist das alles viel einfacher, indem jedes elektrische Feld als äußeres Feld betrachtet wird; dessen elektrische Eigenenergie hat dann mit der Eigenenergie des betrachteten Volumelementes gar nichts zu tun. Die Möglichkeit dieser Auffassung beruht, wie wir im vorigen Abschnitt gesehen haben, darauf, daß bei Betrachtung genügend kleiner Volumenelemente die elektrische Eigenenergie des Systems gegen die kinetische Energie und auch gegen die Wechselenergie des äußeren Feldes auf die betrachteten Ladungen verschwindet. Die einzige Energie, außer der Gasenergie, ist also die potentielle Energie der in dem Volumenelement enthaltenen Ladungen $n \cdot e$ in bezug auf das elektrische Potential φ, also $n e \cdot \varphi$.

Hierbei ist nun offenbar ganz gleichgültig, was für einen Ursprung das elektrische Potential besitzt; Raumladungsfelder, Oberflächenfelder, statische Bildkraftfelder werden alle in gleicher Weise behandelt, und wenn es sonst noch eine potentielle Energie gäbe, die nur von der Lage abhängig und der Teilchenzahl proportional ist, z. B. die Energie des Schwerefeldes oder einer molekularen Attraktion, so würde diese in allen thermodynamischen Betrachtungen einfach zu der elektrischen potentiellen Energie hinzutreten und ebenso wie diese behandelt werden können.

Wird die freie Energie f des betrachteten Elementarsystems aus der Gasenergie und der eben besprochenen potentiellen Energie zusammengesetzt, so folgt aus der Gleichgewichtsbedingung $\frac{\partial f}{\partial n} = \frac{\partial f'}{\partial n'}$ für die verschiedenen Teile des Feldes ohne weiteres das Boltzmannsche e-Gesetz für die Dichteverhältnisse.

Hier führt also die „Gas"auffassung entschieden weiter wie die „Wolken"auffassung; Herr v. Laue muß das Boltzmannsche e-Gesetz als besondere Voraussetzung neben seinen thermodynamischen Betrachtungen einführen. Allgemein wird man sagen können, daß die thermodynamische Behandlung irgendeines Zustandes zu desto genaueren und weiter reichenden Resultaten führt, je mehr Variable des Systems als äußere Variable betrachtet werden, d. h. je kleiner man die Einzelsysteme wählt, auf die man die thermodynamischen Gleichungen und Gleichgewichtsbedingungen anwendet.

Aus der Gleichgewichtsbedingung $\frac{\partial f}{\partial n} = \frac{\partial f'}{\partial n'}$ für alle Volumelemente des Elektronengases ergibt sich auch ohne weiteres, daß ein angelegtes äußeres Feld auf die Grenzdichte der Elektronen keinen Einfluß haben kann, solange wenigstens sich überhaupt eine Grenzdichte definieren läßt. Dies wird dann der Fall sein, wenn sich in der Oberflächenschicht des Metalls eine Grenzfläche angeben läßt, innerhalb deren der Zustand durch das äußere Feld nicht beeinflußt wird, und außerhalb deren bereits die normale Gas- oder Wolkeneigenschaft der Elektronen beginnt. Bei dieser — allerdings sehr rohen — Fiktion müssen sich alle von außen influenzierten Ladungen in eben dieser Grenzschicht ansammeln. Da sich nun die freie Energie bei der Hindurchführung einer Anzahl geladener Teilchen durch eine mit elektrischen Ladungen belegte Oberfläche stetig ändert, so ist in unmittelbarer Nähe dieser Fläche die freie Energie der Elektronen und demgemäß auch ihre Dichte von der Ladung dieser Oberfläche, d. h. von der auf den Leiter wirkenden Feldstärke unabhängig.

(Anm. bei der Korrektur. Wie ich aus der letzten Mitteilung von Herrn v. Laue mit Vergnügen ersehe, sind wir in diesem Punkte völlig einer Meinung. Ich konnte mir vorher nur nicht denken, daß Herr v. Laue für den Beweis seiner Dampfdichteformel ganz spezielle Annahmen über die Grenzfeldstärken usw. heranziehen würde, wenn er sich von vornherein gesagt hatte, daß diese Annahmen auf das Resultat keinen Einfluß hätten!)

Genau dasselbe, was von äußeren elektrischen Feldern gilt, gilt nun aber auch von jeder Art in den Elektronendampfraum hinübergreifenden elektrischen, molekularen oder Schwerefeldern, die aus dem Innern des Leiters heraus auf die Elektronen wirken. Könnte man diese Felder ohne Veränderungen des Zustandes innerhalb der Grenzfläche durch äußere Einwirkungen verändern, so würde das alles an der Grenzdichte der Elektronen in ihrer Abhängigkeit von der Temperatur nichts ändern. Man kann also die Grenzdichte berechnen, in-

dem man sich alle (statischen) Kraftfelder außerhalb der Grenzfläche einfach fortdenkt; diese werden vielmehr nur die Elektronendichte in endlicher Entfernung von der „Grenzfläche" beeinflussen (all dies unter der oben eingeführten vereinfachenden Fiktion).

Eine weitere Vereinfachung des Problems besteht dann darin, daß man nur einen sehr kleinen Raum außerhalb der Grenzfläche für die Elektronen freigibt, so daß die Raumladungsfelder der Elektronen keine merklichen Potentialänderungen innerhalb des Elektronenraumes hervorrufen können. Dann sind alle Voraussetzungen der gewöhnlichen Dampfdrucktheorie gegeben und man gelangt auf die einfachste Weise zu der Clausius-Clapeyronschen Gleichung und zu der aus ihr abzuleitenden Wilsonschen Formel, sowie zu der Laueschen Dampfdruckformel, und diese gilt dann, wie gezeigt, ohne jede Beschränkung bezüglich äußerer Felder, Bildkräfte usw.

Ich habe diese etwas groben Betrachtungen hierher gesetzt, um zu zeigen, daß die Elektronengasvorstellung auch auf dem Boden, der nicht ihr eigentliches Gebiet ist, nämlich bei Zugrundelegung einfacher thermodynamischer Annahmen (Grenzschicht, eindeutige Grenzdichte) die Wolkenvorstellung an Einfachheit und Reichweite übertrifft. Ich möchte aber nicht behaupten, daß damit das wirkliche Problem gelöst ist; ich wage sogar die radikale Behauptung, daß es einen durch die Eigenschaften des Metallinnern eindeutig bestimmten Elektronendampfdruck und damit auch eine wohldefinierte Voltadifferenz zwischen zwei verschiedenen Metallen gar nicht gibt. Daß zur Bewältigung des allgemeinen Problems die Betrachtung von möglichst kleinen Elementarelementen noch viel notwendiger ist als bei der rohen Betrachtung, wird man wohl ohne weiteres einsehen. Diese Überlegungsgruppe müßte einer späteren Publikation vorbehalten bleiben; zunächst möchte ich die von Herrn v. Laue neuerdings angeschnittene Bildkraftfrage meinerseits noch einmal beleuchten.

3. Die Bildkraft.

Nachdem Herr v. Laue in seiner ersten Abhandlung über Glühelektronen auf eine schriftliche Mitteilung von meiner Seite hin die Bildkraft als besondere Kraft neben der Raumladungswirkung eingeführt hatte, ist er später wieder zu der Ansicht gelangt, daß die Bildkraft in der Raumladungswirkung enthalten sei. Ich habe diese Frage schon früher ziemlich weitgehend in einer in dieser Zeitschrift erschienenen Abhandlung[1]) besprochen und habe meine Überlegungen dort in dem Satze zusammengefaßt: „Nicht zwischen Bild- und Raumladungswirkungen besteht ein Gegensatz, sondern zwischen den elektrostatischen Theorien der kontinuierlichen und quantenhaften Elektrizitätsverteilung im Vakuum".

Ich brauche die damaligen Überlegungen hier nur noch etwas weiter auszuführen. Die Beweise von Herrn v. Laue, daß die Bildkraftwirkung in der Raumladungswirkung enthalten ist, haben physikalisch etwa folgenden Inhalt: Ein Elektron steht u. a. unter der Wirkung sämtlicher im Dampfraume vorhandenen Elektronenladungen und unter der Wirkung der an der Grenzfläche des Metalles von den anderen Elektronen und von seiner eigenen Ladung influenzierten Ladungen. Die Wirkung dieser influenzierten Ladungen kann man sich nach dem bekannten Spiegelungsgesetz dadurch ersetzt denken, daß man alle äußeren Elektronen an der Grenzfläche spiegelt und als „positive Elektronen" innerhalb des Leiters verteilt denkt. Man hat dann bei der Berechnung des Gesamtfeldes in Wirklichkeit nur die Wirkungen zweier gleichartiger aber entgegengesetzt geladener Wolken innerhalb und außerhalb der Grenzfläche zu untersuchen. Falls nun für die äußere Wolke der Potentialwert richtig berechnet werden kann, wenn man sich alle Ladungen innerhalb ihres Atomvolumens kontinuierlich verteilt denkt, so muß dasselbe auch für die „innere Wolke" gelten. Eine besondere Bildkraft, die ja ein Anwachsen des Potentials wie $1/x$ in der Nähe der Grenzfläche bedeuten würde (x Entfernung von der ideal spiegelnd gedachten Fläche), kann also nicht auftreten, vielmehr muß die Bildkraftwirkung vollständig durch die Theorie der kontinuierlichen Raumladungswirkung und die Berücksichtigung der gleichmäßigen influenzierten Oberflächenladung erfaßt werden.

Der Fehler in dieser Überlegung ist folgender: Damit die Ersetzung der konzentrierten Ladungen durch gleichmäßig verteilte zulässig ist, muß die Bedingung erfüllt sein, daß die nächst benachbarten Ladungen im Mittel überhaupt nur einen verschwindend kleinen Einfluß auf das betrachtete Elektron ausüben. Ist dies der Fall, — auf die Beziehung zwischen Dichte und Temperatur, die hierfür maßgebend ist, komme ich im nächsten Abschnitt noch einmal

1) Über den Einfluß von Strukturwirkungen, besonders der Thomsonschen Bildkraft, auf die Elektronenemission der Metalle. Diese Zeitschr. 15, 872—878, 1914. Im folgenden zitiert als „Strukturarbeit".

zu sprechen —, so ist ohne weiteres einzusehen, daß die „Struktur" der Elektrizität für das elektrische Feld, in dem sich das Elektron bewegt, keine Bedeutung haben kann. Die nächstbenachbarten Elektronen üben dann nämlich weder in quantenhafter noch in kontinuierlicher Verteilung einen merklichen Einfluß auf das Feld und die Bewegung des Elektrons aus, und für die weiter entfernten Ladungen ist es ohne weiteres klar, daß das Feld einer quantenhaft verteilten Ladung sich von dem einer kontinuierlichen Ladung nicht merklich unterscheidet. (Wären etwa die Elektronen in dem Gebiete der etwas weiteren Umgebung noch so spärlich verteilt, daß auch da ein prozentischer, merklicher Unterschied des kontinuierlichen und quantenhaften Ladungsfeldes wahrzunehmen wäre, so würde man beweisen können, daß der Einfluß dieser Elektronen kleiner als der der nächstbenachbarten Elektronen, also a fortiori zu vernachlässigen ist usw. Diese Bemerkungen mache ich deshalb, weil Herr v. Laue in seiner ersten Abhandlung auch eine untere Grenze der Dichte für notwendig hält, um die kontinuierliche Ladungsverteilung zulassen zu können.)

Nun möchte ich zeigen, daß die erwähnte Beziehung zwischen Temperatur und Dichte, oder, was dasselbe ist, zwischen Temperatur und dem mittleren Abstand der Nachbarelektronen für die äußere Elektronenwolke (und ebenso für die innere) vollständig zutreffen kann, und trotzdem für die Wechselwirkung beider Wolken nicht erfüllt zu sein braucht. Man sieht dies ohne weiteres ein, wenn man bedenkt, daß bei der Annäherung eines Elektrons an die Oberfläche die Bewegung des Spiegelbildelektrons nicht mehr so verläuft wie die mittlere Bewegung zweier Nachbarelektronen gegeneinander, sondern es findet eine zwangsläufige Annäherung (unter idealen Voraussetzungen bis zur völligen Berührung unter Durchlaufen unendlich großer Potentialunterschiede und Erreichung unendlich großer Geschwindigkeiten) statt. Da nun ein Elektron die Grenzfläche gar nicht passieren kann, ohne diese spezielle Feldwirkung durchgemacht zu haben, während im übrigen Raum die Anwesenheit der Nachbarelektronen bei geringeren Dichten höchstens kleine Störungen hervorruft, so ist damit die Ausnahmestellung der Bildkraft, d. h. der Wirkung des eigenen Spiegelbildelektrons auf ein der Oberfläche sich näherndes Elektron klar gegeben. Anders ausgedrückt: Die Mittelung der Wirkung der Nachbarelektronen ist nur zulässig, wenn ihre Bewegungen näherungsweise voneinander unabhängig sind. Für das Bildkraftelektron trifft diese Annahme auch dann nicht zu, wenn die Elektronendampfdichte beliebig klein ist.

Auf die Frage, wann neben der Bildkraft noch andere Strukturwirkungen, Einflüsse der Nachbarelektronen und ihrer Spiegelbilder auf das betrachtete Elektron, eine Rolle spielen, komme ich im nächsten Abschnitt zurück. Hier möchte ich nur noch einmal darauf hinweisen, daß neben theoretischen Betrachtungen über die Bildkraft doch auch ein Versuch[1]) über die Erhöhung der Elektronenemission eines Glühdrahtes durch starke äußere Felder vorliegt; ein Versuch, welcher nicht nur gezeigt hat, daß besondere Oberflächenfelder vorhanden sind, welche von der Raumladungstheorie nicht erfaßt werden, sondern sogar, daß diese Oberflächenfelder bis zu einer gewissen Tiefe ungefähr die Form und berechnete Stärke der Bildkraftfelder besitzen.

4. Die zahlenmäßigen Bedingungen des idealen Gaszustandes außerhalb und innerhalb der Bildkraftsphäre.

Ich komme jetzt nochmals auf eine Frage zurück, die ich schon im ersten Abschnitt gestreift habe: Bei welcher Dichte läßt sich ein genügend kleines Element eines mit Elektronen von bestimmter Temperatur angefüllten Raumes noch als ideales Gas betrachten? Die Antwort war: Wenn das elektrische Feld der nächstbenachbarten Elektronen die Bewegung der einzelnen Elektronen während des größten Teiles ihrer Bahn nicht merklich beeinflußt. (Daß bei sehr großer Annäherung zweier Teilchen eine Beeinflussung, eine Abstoßung, stattfinden kann, widerspricht nicht den Bedingungen des idealen Gaszustandes; solche Zusammenstöße finden ja auch in einem neutralen idealen Gase statt.)

Wie ebenfalls schon früher erwähnt, ist die Bedingung, daß man den mit Elektronen erfüllten Raum in Volumelemente unterteilen kann, die sich wie ein ideales Gas (im „Schwerefelde") verhalten, immer dann erfüllt, wenn sich die quantenhafte Ladungsverteilung ohne Fehler durch eine kontinuierliche Ladungsverteilung ersetzen läßt, und umgekehrt. Da also diese Frage für die Theorie des Elektronendampfdruckes grundlegend ist, möchte ich auf die quantitativen Bedingungen dieses Fragenkomplexes noch etwas genauer eingehen, zumal sich gewisse Angaben von Herrn v. Laue[2]) über diesen Punkt mit früheren Angaben von mir[1]) in einem gewissen Widerspruch zu befinden scheinen.

In meiner Strukturarbeit habe ich als Be-

1) Strukturarbeit.
2) Annalenarbeit.

dingung dafür, daß die Annahme kontinuierlicher Ladungsverteilung und Anwendung der Poissonschen Gleichung zulässig ist, die Gleichung angegeben:

$$\frac{3}{2}KT \ll \varepsilon^2 \sqrt[3]{\frac{2i}{\varepsilon^2\sqrt{\frac{2KT}{\pi\mu}}}}. \qquad (1)^{1)}$$

Hierbei bedeutet K die Gaskonstante eines Elektrons, T die absolute Temperatur, ε die Elementarladung eines Elektrons in elektrostatischen Einheiten, μ seine Elementarmasse und i den in elektrostatischen Einheiten gemessenen Strom pro Flächeneinheit, der von der Gesamtheit aller Teilchen getragen wird, die in einer gegebenen Richtung eine positive Komponente haben. Dieser Strom ist in unmittelbarer Nähe der Glühkathode angenähert gleich dem gemessenen Sättigungsstrom, so daß Gl. (1) direkt eine Beziehung zwischen dem meßbaren Sättigungsstrom, der Temperatur und lauter bekannten Konstanten darstellt.

Über die Ableitung dieser Gleichung, die in meiner früheren Arbeit nur sehr kurz angedeutet ist, möchte ich folgendes nachtragen: Als Ausgangsgleichung ist die Bedingung benutzt, daß die Arbeit, die an einem Elektron geleistet werden muß, um es bis auf den mittleren Atomabstand an ein Nachbarelektron heranzubringen, klein sein muß gegen die mittlere thermische Energie des betreffenden Elektrons. Bedeutet also a diesen mittleren Atomabstand, so wurde gefordert:

$$\frac{3}{2}KT \gg \frac{\varepsilon^2}{a}.$$

Wenn diese Bedingung erfüllt ist, so wird offenbar bei allen gegenseitigen Abständen der Elektronen voneinander, die nicht klein sind gegen den mittleren Atomabstand (Gebiet der „Zusammenstöße"), die kinetische Energie der Elektronen durch die Wirkung des vom Nachbarelektron herrührenden Feldes keine merkliche relative Änderung erfahren, die Bedingung für idealen Gaszustand und für die Zulässigkeit der Annahme kontinuierlicher Ladungsverteilung ist erfüllt. Drückt man weiter a durch die Ladungsdichte ϱ und durch ε aus, so erhält man die weiteren Gleichungen:

$$\varrho = \frac{\varepsilon}{a^3}, \quad a = \left(\frac{\varepsilon}{\varrho}\right)^{1/3},$$

also

$$\frac{3}{2}KT \gg \varepsilon^{5/3} \cdot \varrho^{1/3}, \qquad (2)$$

1) In derselben Gleichung meiner „Strukturarbeit" ist auf der linken Seite fälschlich der Faktor $1/2$ weggelassen.

und wird endlich ϱ mittels des Maxwellschen Verteilungsgesetzes durch den Strom i (beide in elektrostatischen Einheiten) ausgedrückt, wobei sich ergibt:

$$\varrho = \sqrt{\frac{2\pi\mu}{KT}} \cdot i, \qquad (3)$$

so folgt aus (2) und (3) die Gleichung:

$$\frac{3}{2}KT \gg \varepsilon^{5/3}\left(\frac{2\pi\mu}{KT}\right)^{1/6} \cdot i^{1/3}, \qquad (1')$$

die sich von Gleichung (1) nicht unterscheidet.

Die Zwischenbeziehung (2) möchte ich nun mit einer Beziehung von Herrn v. Laue vergleichen, die ebenfalls aus der Forderung abgeleitet ist, daß ein Volumelement der Elektronenwolke als „Gas" (nicht als „Wolke") soll aufgefaßt werden können. Diese Beziehung lautet[1]), von Konstanten der Größenordnung 1 abgesehen:

$$\frac{\varepsilon}{KT} \cdot \varrho \cdot \lambda^2 \ll 1.$$

λ bedeutet hierbei die lineare Abmessung des betrachteten Volumelementes, und die Forderung, die zur Aufstellung dieser Gleichung führt, ist die, daß die elektrische Eigenenergie der in dem Volumelement enthaltenen Teilchen (— Eigenenergie natürlich im Sinne von Wechselenergie der inneren Teilchen aufeinander —) klein ist gegen die kinetische Energie dieser Teilchen.

Diese Bedingung läßt sich nun offenbar extrapolieren auf den Fall, daß das betrachtete Elementarvolumen nur etwa zwei Elektronen umfaßt, und müßte dann mit der Bedingung zusammentreffen, daß die Wechselenergie zweier Nachbarelektronen aufeinander klein sein soll gegen die kinetische Energie eines einzelnen Elektrons. λ müßte dann von der Größenordnung des mittleren Atomabstandes a gewählt werden und es würde sich die Bedingung ergeben:

$$KT \gg \varepsilon \varrho a^2,$$

oder, wegen

$$\frac{\varepsilon}{a^3} = \varrho, \quad a^2 = \varepsilon^{2/3} \cdot \varrho^{-2/3},$$

$$KT \gg \varepsilon^{5/3} \cdot \varrho^{1/3}. \qquad (3')$$

Diese Bedingung ist, wie man sieht, bis auf den Zahleneffektor $\frac{3}{2}$ identisch mit (2), so daß beide Arten von Überlegungen sich gegenseitig stützen.

Nun aber zu den Zahlenwerten. Herr v. Laue setzt in seinem erwähnten Beispiel (Wolfram bei 2400° abs.) eine Stromdichte von der Größenordnung 1 Amp. voraus und findet

1) Annalenarbeit.

bereits bei dieser Stromdichte die zulässige Zahl der in einem „Gasvolum" enthaltenen Elektronen auf fünf beschränkt, so daß nach unserer Überlegung bei wenig größeren Stromdichten auch die Bedingungen des idealen Gaszustandes überhaupt nicht mehr zutreffen. Durch Ausrechnung der direkten Beziehung (1) mit den Zahlenwerten

$$\varepsilon = 4{,}69 \cdot 10^{-10}, \qquad \mu = 9 \cdot 10^{-28}, \qquad K = 1{,}37 \cdot 10^{-16}$$

ergibt sich dagegen, wenn man die Stromstärke in Ampere ausdrückt, die Bedingung:

$$i_{\mathrm{Amp.}} = 7 \cdot 10^6 \left(\frac{T}{2000}\right)^{7/4}. \qquad (4)$$

(In meiner früheren Arbeit hatte ich statt $7 \cdot 10^6$ den Zahlenfaktor $2{,}56 \cdot 10^{10}$; dieser Faktor ist sicher nicht richtig, ich habe mich da offenbar verrechnet.) Immerhin würden nach (4) noch Stromstärken zulässig sein, die weit über alles praktisch jemals im Vakuum zu erreichende hinausgehen, so daß also alle Gebiete des mit Glühelektronen erfüllten Raumes, in die man durch Sättigungsstrommessungen eindringen kann, unter dem Zepter des Maxwellschen Verteilungsgesetzes und des idealen Gaszustandes ständen.

In Wirklichkeit unterscheidet sich jedoch die Bedingung (4) von der v. Laueschen Bedingung nur durch die Deutung, die man dem Zeichen „klein gegen" beimißt. Aus den Gleichungen (2) und (1) erkennt man, daß eine 10^6-fache Erhöhung der Ladungs- und Stromdichte das Verhältnis der beiden gegeneinander abzuschätzenden Größen auf der linken und rechten Seite nur im Verhältnis 1:100 verändert. Würde ich also, wie Herr v. Laue, fordern, daß das Verhältnis dieser beiden Größen mehr als 1:100 beträgt, so würde ich statt (4) die Bedingung haben:

$$i_{\mathrm{Amp.}} < 7 \cdot \left(\frac{T}{2000}\right)^{7/4},$$

d. h. ich würde dann auch keinen Strom von höherer Größenordnung als 1 Amp. zulassen können. Das Ganze ist also schließlich eine Frage des Zutrauens zu der Genauigkeit, mit der man überhaupt die experimentelle Prüfung aller dieser Betrachtungen für möglich hält, und in dieser Hinsicht bin ich als Glühstromtechniker vielleicht etwas weitherziger als Herr v. Laue.

Ebensowenig aber, wie es nach meiner Ansicht möglich sein wird, daß Messungen von stationären Raumladungs- und gewöhnlichen Sättigungsströmen irgendwelche „Strukturwirkungen" der Nachbarelektronen aufeinander erschließen, wird dies wahrscheinlich bei den durch sehr starke Felder erzwungenen Strömen der Fall sein, die durch Überwindung eines Teiles des Bildkraftfeldes entstehen[1]).

Wegen der Verkleinerung des Zahlenfaktors in Gl. (4) sind allerdings meine früheren Überlegungen über den möglichen Einfluß von Strukturwirkungen der Nachbarelektronen innerhalb der Bildkraftsphäre (d. h. also auch über die Zulässigkeit der Annahme eines idealen Gaszustandes innerhalb der Bildkraftsphäre) etwas zu korrigieren. Würde innerhalb der Attraktionssphäre der Glühelektrode das Boltzmannsche e-Gesetz im Verein mit der Bildkraft wirklich die mittlere Entfernung zweier Nachbarelektronen voneinander bestimmen, so müßte man jetzt allerdings sagen, daß bei höheren Temperaturen und Sättigungsströmen die mittleren Abstände der Elektronen innerhalb der Bildkraftschicht, und zwar auch schon außerhalb des „kritischen Abstandes" (von der Größenordnung 10^{-7} cm) so klein werden können, daß die Strukturwirkung der Nachbarelektronen von derselben Größenordnung wird, wie die der Bildkraft. In Wirklichkeit ist aber der mittlere Abstand der Nachbarelektronen selbst unter Voraussetzung ganz idealer Bedingungen viel kleiner als die Berechnung ergibt, und zwar einfach deshalb, weil in einen solchen Elementarwürfel, der auf der Verlängerung seiner Mittelachsen die nächstbenachbarten Elektronen haben sollte, auf der einen Seite das Metall selbst, auf der anderen Seite das Gebiet mit ganz wesentlich dünnerer Verteilung der Elektronen hineinragt, so daß für die Nachbarelektronen nur eine ganz dünne Schicht in Frage kommt, welche natürlich einen viel größeren mittleren Abstand der Einzelelektronen voneinander bedingt, als wenn der ganze Raum gleichmäßig erfüllt wäre.

Da nun die Nachbarelektronen im Gegensatz zum Spiegelelektron in ihrer Bewegung voneinander in erster Annäherung unabhängig sind, so wird hier die Überlegung von Herrn v. Laue zulässig sein, deren Anwendung auf das Spiegelelektron wir oben bekämpfen mußten. Es wird sich die Wirkung der Nachbarelektronen, wenigstens der Größenordnung nach, aus der Annahme der kontinuierlichen Verteilung berechnen lassen. Dann ist aber die Berechnung der Größenordnung der „Strukturwirkungen" der Nachbarelektronen innerhalb der Bildkraftatmosphäre auf Berechnung der „Doppelschichtwirkung" zurückgeführt, und da meine Überlegungen, die sich auf diese Wirkung beziehen, von dem in Frage stehenden Zahlenfaktor unabhängig sind und ergeben, daß die Doppel-

1) Vgl. die „Strukturarbeit".

schichtwirkung meist vernachlässigt werden kann, so ergibt sich aufs neue, wenn auch auf etwas anderem Wege, das Resultat, daß auch innerhalb der Bildkraftatmosphäre alle Strukturwirkungen, außer der Bildkraft selbst, zu vernachlässigen sind, falls nicht extrem hohe Temperaturen in Frage kommen. So rechtfertigt sich auch für tiefere Temperaturen die Berechnung der erzwungenen Ströme allein aus der Bildkraft und dem Boltzmannschen e-Gesetz; die weitere Annahme, die dieser Berechnung zugrunde liegt, nämlich die der „schwarzen Elektronenstrahlung" (d. h. vollständiges Emissions- und Absorptionsvermögen für Elektronen von mittleren Wärmegeschwindigkeiten) rechtfertigt sich nach meiner Ansicht nicht nur durch die theoretischen Überlegungen über das Vorhandensein einer Anziehungssphäre von der Größenordnung von einigen Volt (vgl. den Schluß des „Berichtes") an der Oberfläche, sondern noch mehr durch die uns aus unzähligen Kurven immer wieder entgegentretende Tatsache, daß für Geschwindigkeiten von der Größenordnung 1 Volt der Reflexionskoeffizient der Elektronen sehr klein gegen 1 sein muß[1]).

So scheint mir, daß sich auch durch die neuerliche Prüfung des Bildkraftproblems, die durch die Arbeiten von Herrn v. Laue hervorgerufen wurde, an den früheren Resultaten tatsächlich wenig ändert (von dem korrigierten Rechenfehler abgesehen). Um nicht falsch aufgefaßt zu werden, möchte ich aber zum Schluß betonen, daß ich keineswegs zu den Physikern gerechnet zu werden wünsche, die „mit der Bildkraft durch dick und dünn gehen". Man vergleiche deswegen meine Einschränkungen S. 202 des „Berichtes".

1) Vgl. dazu § 6 meiner demnächst im Archiv für Elektrotechnik erscheinenden Abhandlung „Über Hochvakuumverstärker".

Charlottenburg, 11. bis 25. Januar 1919.

(Eingegangen 27. Januar 1919.)

Das Serienspektrum des Heliums.

(Vorläufige Mitteilung.)

Von A. Landé.

Um das Serienspektrum des Heliums und der Alkalien dynamisch zu erklären, braucht man sich mit Rücksicht auf die Bohrsche Frequenzbedingung $\nu = E_n - E_n/h$ nur mit den Energiewerten E_n zu beschäftigen, die ein Außenelektron (Valenzelektron) auf seiner n-quantigen Bahn um die von $Z-1$ Innenelektronen dicht umgebene Kernladung $+Ze$ besitzt. Kern und innere Elektronen wirken auf das äußere wie ein punktförmiger Kern der Ladung $+e(1+\varkappa)$, worin $\varkappa$ aus der Wechselwirkung der Elektronen zu berechnen ist. In Anbetracht der Schnelligkeit des Elektronenumlaufes ersetzte A. Sommerfeld[1]) die Wechselwirkung zwischen inneren und äußeren Elektronen näherungsweise durch die Wirkung, welche zwischen den konzentrischen Kreisbahnen auftritt, wenn man sich dieselben entsprechend der Verweilzeit kontinuierlich mit Elektrizität belegt denkt. $\varkappa$ wird dann eine Größe zweiter Ordnung in dem Radienverhältnis der inneren Elektronenbahnen zur äußeren. Dagegen würde man einen Effekt erster Ordnung durch eine exzentrische Verschiebung des Ringes vom äußeren Valenzelektron fort (Fig. 1) erhalten, und eine solche Verschiebung

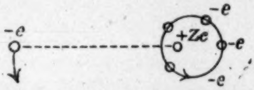


Fig. 1.

ist infolge der abstoßenden Kraft des Außenelektrons gegen die Ringelektronen tatsächlich vorhanden. Der Kern $+Ze$ mit der um die Strecke d verschobenen Ringladung $(Z-1)(-e)$ wirkt dann auf das äußere Elektron in erster Näherung zurück wie ein Dipol vom Moment $d \cdot e$, dessen ungleichnamiger Pol auf das Valenzelektron zu zeigt; erst in zweiter Näherung macht sich in $\varkappa$ die Größe des Ringes bemerkbar, und in dritter Näherung eine Verzerrung der Kreisringform. Es kommt nun darauf an, die Größe der exzentrischen Ringverschiebung d im Feld des Valenzelektrons zu berechnen. Das ist eine ähnliche Aufgabe, wie die in der Dispersionstheorie gestellte Frage nach dem Moment eines Ringes im periodischen Feld einer Lichtwelle, nur daß im vorliegenden Fall das Feld mit dem Valenzelektron rotiert und dazu nicht an allen Stellen des Ringes die gleiche Stärke und Richtung hat. Letztere Inhomogenität wird aber die Größe des erzielten Ringmomentes wieder nur in höherer Ordnung verändern. Wir denken uns deshalb das inhomogene Feld des Valenzelektrons ersetzt durch ein homogenes von der Größe und Richtung, wie es im Ringzentrum herrschen würde. Die verschiedenen schiefen Stellungen der Bahnebene des äußeren Elektrons gegen den

1) A. Sommerfeld, Sitzungsber. der Bayr. Akademie, November 1916.

inneren Ring und die verschiedenen Ellipsenformen dieser Bahn, die bei azimutaler, radialer und räumlicher Quantelung auftreten, ergeben schließlich die Aussicht, das Seriensystem des Heliums dynamisch zu deuten.

Der Gang der Untersuchung ist so vorgezeichnet: Man rechne in Anlehnung an Debyes Störungstheorie des Wasserstoffmoleküls[1]) die Störungen in einem rotierenden Felde aus, setze für die Größe des Feldes die vom Außenelektron herrührende Feldstärke $-e/r^2$ ein und ziehe die Energiebilanz des gesamten Systems Kern + Ring + Valenzelektron bei verschieden gequantelten Bahnen des letzteren, um die mit h multiplizierten Kombinationsterme des Serienspektrums zu erhalten. Ihre Größe hängt natürlich ab von der jeweiligen exzentrischen Ringverschiebung. Berechnet man aber die Ringmomente in der üblichen Weise der Dispersionstheorie, sinngemäß für rotierendes Feld geändert, so erhält man ganz falsche Energiewerte. Die üblichen gestörten Ringbahnen, welche aus ungestörten Kreisbahnen vom Radius a entstehen, sind nämlich in dem störenden Feld zwar im Gleichgewicht; mit diesem Feld sind aber auch noch viele andere exzentrisch verschobene Bahnen verträglich, nämlich diejenigen, welche nach jenen Formeln aus Kreisen mit irgendwelchen anderen Radien a' entstehen würden. Aus der Auswahl dieser mechanisch mit dem störenden Feld verträglichen Bahnen hat man nun diejenige auszusuchen, welche aus der ungestörten Kreisbahn a bei unendlich langsamen Anwachsen des Feldes entstehen würde (Adiabatensatz von P. Ehrenfest[2])). Da nun die Ringladung $-pe$ auch beim Bohrschen Atommodell näherungsweise quasielastisch an den Kern gebunden ist, leistet ein elektrisches Feld beim Anwachsen vom Betrag Null auf den Betrag $\mathfrak{E}$ die Verschiebungsarbeit

$$W = pe \cdot \mathfrak{E} \cdot \frac{d}{2}.$$

Der um d verschobene Ring muß also einen um W größeren Energieinhalt (kinetische + potentielle Energie der Ringelektronen gegeneinander und gegen den Kern) haben als der ungestörte Ring. Die Debyeschen gestörten Dispersionsbahnen widersprechen aber dieser Forderung, wie man sich durch Rechnung leicht überzeugt. Zu dem ungestörten Radius a bekommt man vielmehr die energetisch richtigen gestörten Bahnen, indem man die Debyeschen Störungsformeln auf einen ungestörten Ring a' anwendet, wobei a' so zu wählen ist, daß nach der Verschiebung die adiabatisch verlangte Energiezunahme W gilt. Im Falle der periodischen Lichtwelle wäre also mit der Verschiebung eine periodische Pulsation des Ringes verbunden, in unserm Fall der Heranbringung des felderzeugenden Valenzelektrons aus dem Unendlichen eine einmalige kleine Zusammenschrumpfung des Ringes bei seiner azentrischen Verschiebung. Übrigens erweist sich diese Radiusänderung als so klein, daß bei der Entwicklung des atomaren Feldes nach Potenzen von a/r in großer Näherung der normale Wert a eingesetzt werden kann. Jenes Zusammenschrumpfen ist aber für die Energiebilanz wesentlich.

Um dann die Serienterme zu erhalten, hat man nach der Methode der Dispersionstheorie zu jeder Entfernung r des Außenelektrons die zugehörige Lage des Ringes aufzusuchen und das Potential des exzentrischen Systems Kern + verschobener Ring auf das Valenzelektron zu bilden und die Verschiebungsenergie W hinzuzufügen, um nach den allgemeinen Methoden von A. Sommerfeld[1]) die quantentheoretischen Bahnen des Valenzelektrons in diesem Potentialfeld zu erhalten[2]).

Das Valenzelektron soll um den Kern eine konzentrische Kreisbahn beschreiben, deren Achse mit der Achse des ungestörten inneren Ringes einen Winkel ϑ einschließt (Fig. 2).

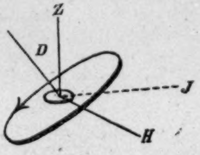


Fig. 2.

$\vartheta = 180^0$ bedeutet also komplanar, aber entgegengesetzt umlaufendes Elektron. Nimmt man die Schnittlinie der beiden Bahnebenen zur x-Achse, die Drehachse, des inneren Ringes zur z-Achse, und hat das äußere Elektron die Umlaufsfrequenz s, so ist seine Bahn beschrieben durch

$$X_0 = r \cos s t, \qquad Y_0 = r \sin s t \cos \vartheta, \qquad Z_0 = r \sin s t \sin \vartheta. \tag{1}$$

Es erzeugt im Ringzentrum ein Feld, dessen periodische Komponenten durch die reellen Teile von

1) P. Debye, Sitzungsber. der Bayr. Akademie, Januar 1915.

2) P. Ehrenfest, Ann. d. Phys. 51, 327, 1916.

1) A. Sommerfeld, l. c.

2) Vgl. Fußnote 1 S. 232.

$$\mathfrak{E}_x = \frac{e}{r^2} e^{ist}, \quad \mathfrak{E}_y = -i \frac{e}{r^2} \cos\vartheta\, e^{ist}, \qquad (1')$$
$$\mathfrak{E}_z = -i \frac{e}{r^2} \sin\vartheta\, e^{ist}$$

gegeben sind.

Die Ringelektronen (beim He nur ein einziges) mögen mit der Frequenz ω auf einem Kreis vom Radius a umlaufen; eins von ihnen beschreibt dann ungestört die Bahn

$$x = a\cos\omega t, \quad y = a\sin\omega t, \quad z = 0. \qquad (2)$$

Steht es unter dem Einfluß der scheinbaren Kernladung $Z' = Z - s_p$ mit der Abschirmungskonstante s_p (bei He ist $Z' = Z = 2$), so sind a und ω durch die mechanische Gleichgewichtsforderung und Quantenbedingung (einquantige Bahn)

$$m a \omega^2 = \frac{Z' e^2}{a^2}, \quad m a^2 \omega = \frac{1 \cdot h}{2\pi} \qquad (3)$$

festgelegt, während das Valenzelektron mit n Quanten den Impuls

$$m r^2 s = \frac{nh}{2\pi} \qquad (3')$$

hat. Aus Gl. (3) und (3') folgt die Frequenzbeziehung

$$\frac{s}{\omega} = \frac{n a^2}{r^2}. \qquad (3'')$$

Die ungestörte Bahn (2) des inneren Elektrons ändere durch den Einfluß des Feldes (1') ihren Kernabstand a um einen Betrag $R(t)$, ihren Phasenwinkel ωt um einen Winkel $\Phi(t)$, und ihre Koordinate $z = 0$ um den Betrag $Z(t)$, wobei R/a, Φ und Z/a als periodische Funktionen

$$\left.\begin{aligned} \frac{R}{a} &= \frac{A}{2} e^{i(s+\omega)t} + \frac{A'}{2} e^{i(s-\omega)t}, \\ \Phi &= \frac{B}{2} e^{i(s+\omega)t} + \frac{B'}{2} e^{i(s-\omega)t}, \\ \frac{Z}{a} &= \frac{G}{2} e^{ist} \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

in die Bewegungsgleichungen des Ringelektrons im störenden Feld eingesetzt werden können. Mit Hilfe der potentiellen Energie U von Kern und Ring, die bei dem einen Ringelektron des He die Gestalt

$$U = -Ze^2 : \sqrt{(a+R)^2 + Z^2} = = -\frac{2e^2}{a}\left(1 - \frac{R}{a} + \frac{R^2}{a^2} - \frac{1}{2}\frac{Z^2}{a^2} + \cdots\right) \qquad (5)$$

hat, erhält man nach dem Muster der Debyeschen Störungstheorie beim Wasserstoffmolekül[1]) als Resultat für die Koeffizienten A, A', B, B', G in (4) die Ausdrücke

$$A = \frac{1}{m a \omega^2} \frac{e^2}{r^2} (1 - \cos\vartheta) \frac{\left(2 + \frac{s}{\omega}\right)^2 - 1}{\left(1 + \frac{s}{\omega}\right)^4 - \left(1 + \frac{s}{\omega}\right)^2}$$

$$B = \frac{i}{m a \omega^2} \frac{e^2}{r^2} (1 - \cos\vartheta) \frac{\left(2 + \frac{s}{\omega}\right)^2 + 2}{\left(1 + \frac{s}{\omega}\right)^4 - \left(1 + \frac{s}{\omega}\right)^2}$$

$$A' = \frac{1}{m a \omega^2} \frac{e^2}{r^2} (1 + \cos\vartheta) \cdot \frac{\left(2 - \frac{s}{\omega}\right)^2 - 1}{\left(1 - \frac{s}{\omega}\right)^4 - \left(1 - \frac{s}{\omega}\right)^2}$$

$$B' = \frac{-i}{m a \omega^2} \frac{e^2}{r^2} (1 + \cos\vartheta) \frac{\left(2 - \frac{s}{\omega}\right)^2 + 2}{\left(1 - \frac{s}{\omega}\right)^4 - \left(1 - \frac{s}{\omega}\right)^2}$$

$$G = \frac{-2i}{m a \omega^2} \frac{e^2}{r^2} \sin\vartheta \cdot \frac{1}{\left(\frac{s}{\omega}\right)^2 - 1} \qquad (6)$$

Die Entwicklung nach der kleinen Größe $s/\omega = na^2/r^2$ gibt mit Benutzung von (3)

$$\left.\begin{aligned} A &= (1 - \cos\vartheta) \frac{1}{n} \frac{3}{4} \left(1 - \frac{7}{6} \frac{s}{\omega}\right) \\ B &= i(1 - \cos\vartheta) \frac{1}{n} \frac{6}{4} \left(1 - \frac{11}{6} \frac{s}{\omega}\right) \\ A' &= -(1 + \cos\vartheta) \frac{1}{n} \frac{3}{4} \left(1 - \frac{7}{6} \frac{s}{\omega}\right) \\ B' &= i(1 + \cos\vartheta) \frac{1}{n} \frac{6}{4} \left(1 - \frac{11}{6} \frac{s}{\omega}\right) \\ G &= i \frac{s}{n\omega}. \end{aligned}\right\} \qquad (7')$$

G ist also in s/ω um eine Größenordnung kleiner als A, B, A', B'.

Damit sind die Störungen (4) bestimmt: Aus ihnen setzt sich die Bahn des gestörten Ringelektrons zusammen (statt (2))

$$\left.\begin{aligned} x &= (a + R)\cos(\omega t + \Phi) = \\ &= a\left[\cos\omega t + \frac{R}{a}\cos\omega t - \Phi\sin\omega t\right] \\ y &= (a + R)\sin(\omega t + \Phi) = \\ &= a\left[\sin\omega t + \frac{R}{a}\sin\omega t - \Phi\cos\omega t\right] \\ z &= Z = a \cdot \frac{Z}{a}. \end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

Bildet man aus (1) und (8) die Entfernung l zwischen dem Valenz- und dem Ringelektron, so erhält man, da

$$l^2 = (X_0 - x)^2 + (Y_0 - y)^2 + (Z_0 - z)^2,$$

1) P. Debye, l. c.

den folgenden Ausdruck

$$\frac{l^2}{r^2} = 1 - \frac{2a}{r}\Big[(\cos st \cos\omega t + \cos\vartheta \sin st \sin\omega t) + \\ + \frac{R}{a}\Big(\cos(s+\omega)t\cdot\frac{1-\cos\vartheta}{2} + \cos(s-\omega)t\,\frac{1+\cos\vartheta}{2}\Big) \\ - \Phi\Big(\sin(s+\omega)t\cdot\frac{1-\cos\vartheta}{2} - \sin(s-\omega)t\,\frac{1+\cos\vartheta}{2}\Big)\Big] \\ + \frac{a^2}{r^2} = 1 - 2M + N^2$$

mit $M = \frac{a}{r}[\cdots]$, $N = \frac{a}{r}$. (9)

Bildet man die reziproke Größe r/l, entwickelt bis zu Gliedern zweiter Ordnung

$$\frac{r}{l} = 1 + M + \frac{1}{2}(3M^2 - N^2) + \cdots$$

und bestimmt den zeitlichen Mittelwert, so erhält man nach einiger Rechnung

$$\overline{M} = \frac{a}{r}\Big[\frac{1-\cos\vartheta}{8}(A - iB) + \frac{1-\cos\vartheta}{8}(A' + iB')\Big]$$

$$\overline{M^2} = \frac{a^2}{r^2}\Big\{\frac{1+\cos^2\vartheta}{4} + \\ + \frac{1}{128}(1-\cos\vartheta)^2[(A-iB)^2 + 2A^2 + 2(iB)^2] + \\ + \frac{1}{128}(1+\cos\vartheta)^2[(A'+iB')^2 + 2A'^2 + 2(iB')^2] - \\ - \frac{1-\cos^2\vartheta}{32}(A - iB)(-A' - iB')\Big\}. \quad (10)$$

Andererseits ist die in obiger Verschiebungsarbeit W vorkommende Größe $d/2$ zu entnehmen aus der Entwicklung

$$W = \frac{e^2}{r^2}\cdot\frac{d}{2} = \frac{e^2}{2r}\Big(\frac{\bar{l}}{r} - 1\Big) = \\ = -\frac{e^2}{r}\Big[\frac{\overline{M}}{2} + \frac{1}{4}(\overline{M^2} - \overline{N^2})\Big]. \quad (10')$$

Das mittlere Potential des in der Entfernung r kreisenden Elektrons gegen Kern $Z = 2$ und Ring $-1e$ ist also beim Helium

$$V = -\frac{e^2}{r}\Big(2 - \Big(\overline{\frac{r}{l}}\Big)\Big) + W.$$

Mit Benutzung von (7), (10), (10′) ergibt sich

$$V = -\frac{e^2}{r}\Big(1 + \alpha_1\frac{a}{r} + \alpha_2\frac{a^2}{r^2} + \alpha_3\frac{a^3}{r^3} + \cdots\Big) \quad (11)$$

mit den Abkürzungen

$$\alpha_1 = \frac{9\cos\vartheta}{16n}, \\ \alpha_2 = -\frac{1+5\cos^2\vartheta}{16} - \frac{45(1+150\cos^2\vartheta+\cos^4\vartheta)}{n^2\cdot 4096} \quad (12)$$

als mittleres Potential des auf einer geneigten Kreisbahn umlaufenden Valenzelektrons gegen Kern und verschobene Kreisbahn des inneren Ringelektrons beim Helium. Für $\vartheta = 0^0$ und $\vartheta = 180^0$ ist überdies (11) nicht nur das mittlere Potential, sondern das Potential in jedem Punkt der komplanaren Kreisbahn. Wir betrachten nun im Folgenden den Ausdruck (11), (12) als Potential des Valenzelektrons in einem beliebigen Punkt des Abstandes r vom Kern, auch wenn sich das Valenzelektron auf irgendeiner andern Bahn, etwa einer Ellipse, durch diesen Punkt hindurch bewegt.

Die Reihenentwicklung (11) des Potentials V auf das Valenzelektron bildet die Grundlage der Quantelung seiner Umlaufsbahnen im Atomfeld. Herr Sommerfeld hat die allgemeine Methode zur Ableitung der zugehörigen Kombinationsterme[1]) mit Hilfe komplexer Integration gegeben nur für den Fall, daß allein gerade Potenzen von $\frac{a}{r}$ in V vorkommen (fehlende exzentrische Ringverschiebung). Die Erweiterung der Sommerfeldschen Methode auf Potentialfelder der Gattung (14) führt zu folgender Bahnenergie des Valenzelektrons bei n azimutalen und n' radialen Quanten

$$h\nu = \frac{Nh}{(n+n')^2}\cdot\frac{1}{\Big(1 - \frac{n}{n+n'}\delta_n\Big)^2} \quad (13)$$

worin δ_n die nur von n, nicht von n' abhängende Größe bedeutet:

$$\delta_n = \alpha_1\Big(\frac{a}{n^2 a_0}\Big) + \Big(\alpha_2 + \frac{\alpha_1^2}{2}\Big)\Big(\frac{a}{n^2 a_0}\Big)^2 + \\ + \Big(\alpha_3 + 3\alpha_1\alpha_2 + \frac{\alpha_1^3}{2}\Big)\Big(\frac{a}{n^2 a_0}\Big)^3 + \cdots \quad (13')$$

mit den Abkürzungen

$$N = \frac{2\pi m e^4}{h^3} \text{ (Rydberg-Frequenz)}, \\ a_0 = \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2} \text{ (innerster Wasserstoffringradius)}. \quad (14)$$

Die in δ_n auftretende Größe $a/n^2 a_0$ ist im wesentlichen gleich a/r. Die Stellung ϑ der schiefen Kreisbahnen ist geregelt durch die Sommerfeldschen Bedingungen[2])

$$\cos\vartheta = \frac{n_1}{n_1 + n_2} \quad \text{wobei} \quad n_1 + n_2 = n, \quad (15)$$

erhalten aus der Quantelung im Raum. Jede quantentheoretisch mögliche Bahn ist nun charakterisiert durch die drei Quantenzahlen $n' n_1 n_2$.

1) A. Sommerfeld, Münchener Akademieberichte, November 1916.

2) A. Sommerfeld, Ann. d. Phys. 51, 31, 1916, Formel 22.

$n = n_1 + n_2$ bestimmt das Flächenmoment $mr^2\dot{\varphi} = nh/2\pi$, die Neigung ϑ der inneren gegen die äußere Elektronenbahn ist durch (15) gegeben, und die Exzentrizität ε wird gefunden aus $\sqrt{1-\varepsilon^2} = n/n + n'$. Rechnet man die Terme ν_{He} aus (13) für verschiedene positiv ganzzahlige Tripel $n' n_1 n_2$ aus, so ergeben sich durch Vergleich mit den Serientermen $\nu_H = N/(n+n')^2$ des Wasserstoffs[1]) die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Werte $\nu_{He} : \nu_H$.

	Beobachtung		Theorie		
	ν_{He}	$\nu_{He} : \nu_H$	$\nu_{He} : \nu_H$	$n' n_1 n_2$	ϑ
S_I	32 031 13 445 7 369 4 646	1,168 1,103 1,075 1,059	Näherung unzureichend		
P_I	27 174 12 099 6 817 4 367	0,982 0,992 0,994 0,995	0,9979 0,9986 0,9989 0,9991	002 102 302 402	90^0 „ „ „
D_I	12 204 6 863 4 391	1,0011 1,0009 1,0007	0,9996 0,9997 0,99976	003 103 203	90^0 „ „

	Beobachtung		Theorie		
	ν_{He}	$\nu_{He} : \nu_H$	$\nu_{He} : \nu_H$	$n' n_1 n_2$	ϑ
S_{II}	38 453 15 073 8 011 4 963	1,402 1,237 1,168 1,131	1,37 1,225 1,160 1,125	110 210 310 410	0^0 „ „ „
P_{II}	29 222 12 745 7 093 4 509	1,0657 1,0458 1,0337 1,0278	1,050 1,034 1,023 1,019	020 120 220 320	0^0 „ „ „
D_{II}	12 208 6 865 4 393	1,0012 1,0010 1,0009	1,0181 1,0135 1,0108	030 130 230	0^0 „ „

Theorie		
$\nu : \nu_H$	$n' n_1 n_2$	ϑ
1,029 1,020 1,014 1,011	011 111 211 311	60^0 „ „ „
— 1,012 1,009 1,007	— 021 121 221	— $48,20^0$ „ „
1,0062 1,0046 1,0039	012 112 212	$70,53^0$ „ „

1) Für N ist dabei der nach F. Paschen, Ann. d. Phys. **50**, 935, 1916 für Helium geltende Wert $N = 109722$ genommen.

Nach einer zuerst von A. Sommerfeld vertretenen Auffassung besitzen in den Serien

$$\left.\begin{array}{rl} \text{Hauptserie} & \nu = S - P \\ \text{1. (diffuse) Nebenserie} & \nu = P - D \\ \text{2. (scharfe) Nebenserie} & \nu = P - S \end{array}\right\} \quad (16)$$

die S-Terme die azimutale Quantenzahl $n = 1$, die P-Terme $n = 2$, die D-Terme $n = 3$, während die radiale Quantenzahl n' die Werte $1, 2, 3 \cdots$ durchläuft. S-Terme gibt es also mit den Wertetripeln $(n' n_1 n_2) = (n', 0, 1)$ und $(n', 1, 0)$, P-Terme mit $(n', 0, 2)$, $(n', 1, 1)$ und $(n', 2, 0)$, D-Terme mit $(n', 0, 3)$, $(n' 1, 2)$, $(n', 2, 1)$ und $(n', 3, 0)$. Das sind zwei S-Termserien, drei P-Term- und vier D-Termserien. Empirisch gibt es ebenfalls zwei S-Termserien, nämlich S_I (Parhelium) und die einfach beobachteten S_{II}-Terme; ferner drei P-Termserien, nämlich P_I und die beiden Terme von P_{II}; ferner wäre es möglich, daß von den beobachteten drei D-Termen D_I und zwei D_{II}-Terme einer noch doppelt wäre, D_{II} also in Wahrheit ein Triplet darstellt. Die Zusammenstellung der Tabelle, graphisch in der Fig. 3 aufgetragen, zeigt aber, daß nach unserer Näherungsrechnung die Terme $(n' 0\, 2)$, $(n' 0\, 3)$, $(n' 2\, 0)$, $(n' 1\, 2)$, allenfalls auch $(n' 1\, 0)$ mit beobachteten Termen nahe zusammenfallen, während die übrigen Terme mit den vorigen keine genügend engen Duplets bilden. Man beachte aber, daß unsere Näherungsmethode, besonders die räumliche Quantelung (15) nur als provisorisch anzusehen ist[1]). In Wirklichkeit werden z. B. die gegeneinander geneigten Bahnachsen noch säkulare Präzessionen ausführen, deren Periode zu quanteln ist, an Stelle der räumlichen Quantelung (15). Deshalb kann die hier gegebene Theorie, besonders die erhaltenen Zahlenwerte, nur als eine erste Orientierung über die Möglichkeit, das Serienspektrum des Heliums dynamisch zu deuten, angesehen werden.

Unsere Näherung ist besonders unzureichend bei den S-Termen mit $n = 1$, weil hier die äußere Elektronenbahn zu dicht am inneren Elektron vorbeiführt. Das hängt damit zusammen, daß die S-Terme hier als starke Störungen der Wasserstoffterme $n = 1$, $n' = 0, 1, 2 \cdots$ aufgefaßt werden, im Gegensatz zu der üblichen Beschreibung durch schwach gestörte Laufzahlen $n = 1{,}5;\ 2{,}5;\ 3{,}5 \cdots$. Auch bei den P-Termen $(n = 2)$ würden die dritten Glieder der Reihenentwicklung vermutlich die erhaltenen Quotienten

1) Die exakte Behandlung der gegenseitigen Bahnstörungen mit Hilfe Fourierscher Reihen nach Winkelkoordinaten und deren Quantelung (Schwarzschild, Burgers), die Verf. gegenwärtig durchführt, konnte bereits die erste Näherung der hier gegebenen Rechnungsmethode bestätigen und dadurch die obige Anwendung des Adiabatensatzes auf die Verschiebungsenergie W rechtfertigen.

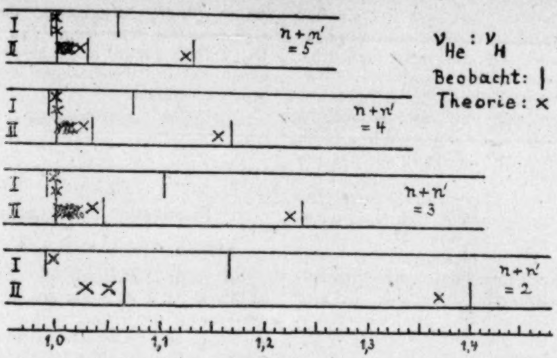


Fig. 3.

ν_{He}/ν_H noch merklich vergrößern. Ferner bemerkt man, daß Umkehrung des Vorzeichens von $\cos\vartheta$ (Umkehrung des Umlaufssinns des äußeren Elektrons) gerade das Hauptglied α_1 der Reihenentwicklung δ_n (13) umkehrt, also zu der nahezu entgegengesetzten Abweichung des *He*-Terms vom entsprechenden *H*-Term führen würde. Die Forderung positiver Quantenzahlen n_1 und n_2 schließt aber solche Umkehrung aus.

In der Fig. 3 sind die aus der Beobachtung abstrahierten Termwerte $\nu_{He} : \nu_H$ als Striche eingetragen, für die verschiedenen Werte von $n + n'$ und von He_{I} und He_{II} getrennt, dazu als Kreuze die theoretischen Termwerte $\nu_{He} : \nu_H$ der Tabelle.

Die Werte der *S*-Terme von He_{II} in der Tabelle, gehörend zu den Quantentripeln (n' 1 0), und die entsprechenden Kreuze der Figur sind wegen der unzureichenden Konvergenz der Störungsreihen nicht mit Hilfe von (13) berechnet worden. Vielmehr ist, einer Anregung von Herrn Sommerfeld folgend, der in (13) benötigte Wert von $\delta_{n=1}$ ($n_1 = 1$, $n_2 = 0$, $\vartheta = 0^0$) erhalten aus der von H. Rau[1]) gemessenen Ionisierungsspannung, die zur Erzeugung der Fowlerschen Heliumserie

$$\nu = N\,4\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

nötig ist. Die gemessene Ionisierungsspannung ist 75—80 Volt, umgerechnet gleich einer Arbeit $Nh \cdot 5{,}55$ bis $5{,}91$. Davon möge die Arbeit

$$Nh \cdot 4 \cdot \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{4^2}\right)$$

für den Sprung des innern Elektrons aus der normalen einquantigen Bahn in die vierquantige Fowlersche Ausgangsbahn verbraucht werden, nachdem das äußere Elektron bereits entfernt gedacht ist. Der Rest $Nh \cdot 1{,}80$ bis $2{,}16$ bleibt also zur Abtrennung dieses äußeren Elektrons vom neutralen Helium übrig. Ist im neutralen Helium der Normalzustand durch das Quantentripel $(n'\,n_1\,n_2) = (0, 1, 0)$ (Grundglied von S_{II} in obiger Tabelle) charakterisiert, so ist nach (13) die Abtrennungsarbeit $Nh : (1 - \delta_1)^2$ für seinen Sprung ins Unendliche nötig.

Aus der Gleichsetzung

$$\frac{1}{(1-\delta_1)^2} = \begin{cases} 1{,}80 \\ 2{,}16 \end{cases}$$

folgt dann als Mittel $\delta_1 = 0{,}29$.

Mit diesem Zahlenwert sind die theoretischen Werte S_{II} nach (13) berechnet und in die Figur als Kreuze eingetragen worden. Umgekehrt kann man aber auch aus der dynamischen Deutung der *S*-Terme von He_{II} rückwärts den Wert δ_1 extrapolieren und mit ihm die Energie des normalen *He*-Atoms mit $n' = 0$, $n_1 = 1$, $n_2 = 0$ nach (13) berechnen. Man findet so den Energiewert $-Nh \cdot 6{,}16$ bis $6{,}20$ als innere Energie des neutralen Heliums im Normalzustand, wenn dieses besteht aus dem Kern $+2e$, umkreist von einem Elektron auf einquantiger Kreisbahn, in weiterem Abstand von einem zweiten Elektron auf ebenfalls einquantiger[1]) komplanarer Kreisbahn (Kreisbahn cum grano salis zu verstehen, da sich die beiden Elektronen stören). Dieses Modell des normalen Heliums steht im Gegensatz zu dem von N. Bohr propagierten Modell[2]),

1) H. Rau, Berichte d. phys. med. Ges. Würzburg, 26. Febr. 1914.

1) Bei fehlender gegenseitiger Störung würden die Radien der beiden einquantigen Bahnen gleich $a_0/2$ und $a_0 \cdot 1$ sein (a_0 ist in (14) definiert).

2) Das Bohrsche Modell zweier auf demselben Kreis diametral gegenüber rotierender Elektronen gibt bekanntlich die falsche Dispersion. Das hier verwendete Heliummodell, zwei einquantige Kreisbahnen mit verschiedenen Radien, wurde von Sommerfeld vorgeschlagen.

bei dem die beiden Elektronen auf ein und demselben einquantigen Kreis diametral gegenüberliegend laufen. Das Bohrsche Modell hat den Energieinhalt $-Nh \cdot 2(2-0{,}25)^2 = -Nh \cdot 6{,}125$. Aus unserer Deutung der S-Terme von He_{II} ergibt sich also, daß das hier benutzte He-Modell mit seiner Energie $-Nh \cdot 6{,}16$ bis $6{,}20$ um ein geringes stabiler ist als das von Bohr vorgeschlagene. —

Nachtrag bei der Korrektur. Die Rotationsachse eines kreisenden Elektrons, welche sich mit einer im Raum festen Achse gleichrichten will, mit der sie einen Winkel Θ bildet, führe bei unverändertem Θ (fehlende Nutation) eine Präzessionsbewegung um z aus. Ist $2\pi o$ die Präzessionsfrequenz, klein gegen die Rotationsfrequenz s des Elektrons, so ist die kinetische Energie näherungsweise gleich

$$mr^2 (s + o \cos \Theta)^2/2,$$

die Gesamtenergie also um einen Betrag

$$E = mr^2 s o \cos \Theta$$

größer als die normale Energie bei fehlender Präzession. Aus der Quantelung dieser mit o periodischen Zusatzenergie: $\overline{E} = n_1 h \cdot o$ folgt sofort

$$\cos \Theta = n_1 / n_s, \qquad (1)$$

wenn $n_s = mr^2 s/h$ die Zahl der Energiequanten sh ist, aus denen sich wegen $oh << sh$ die Gesamtenergie im wesentlichen aufbaut, übereinstimmend mit der Regel (15), die von Sommerfeld auf ganz andere Art abgeleitet wurde. — Die zwei kreisenden Elektronen beim Helium können eine Präzessionsbewegung ausführen, so daß ihre Rotationsachsen mit einer im Raume festen Achse z die unveränderlichen Winkel ϑ und Θ einschließen, während ihre Knotenlinie $\perp z$ mit der einen Frequenz $2\pi o$ vorrückt. Die Quantelung der mit o periodischen Zusatzenergie $\overline{E} = ma^2 \omega o \cos \vartheta + mr^2 s o \cos \Theta'$, $\overline{E} = n_1 h \cdot o$, führt zu

$$n_s \cos \Theta + n_\omega \cos \vartheta = n_1. \qquad (2)$$

Da andererseits die potentielle Energie V der beiden Kreisbahnen nur von $\vartheta - \Theta$ abhängt, führt die Bedingung des Gleichgewichts

$$\frac{\partial T}{\partial \vartheta} = \frac{\partial V}{\partial \vartheta} = -\frac{\partial V}{\partial \Theta} = -\frac{\partial T}{\partial \vartheta},$$

d. h. $ma^2 \omega o \sin \vartheta = mr^2 s o \sin \Theta$ zu

$$n_s \sin \Theta + n_\omega \sin \vartheta = 0 \qquad (3)$$

als zweite Bestimmung für ϑ und Θ bei gegebenen $n_s n_\omega n_1$. Die aus (2) (3) entspringenden diskreten Werte ϑ, Θ führen zu von (15) abweichenden gegenseitigen Stellungen der beiden Kreise gegeneinander. Die Diskussion von (2) (3) zeigt zu jedem n_s bei $n_\omega = 1$ nur zwei Stellungen (ϑ, Θ), entsprechend den zwei Termsystemen He_I und He_{II}. Die Duplizität der He_{II}-Terme dürfte möglicherweise auf Nutationen mit quantenmäßigen bestimmten Frequenzen beruhen.

(Eingegangen 25. März 1919.)

Szintillation bei Kanalstrahlen.

Von H. v. Dechend u. W. Hammer.

In dem „Handbuch der Radiologie" von E. Marx Bd. 4 ist in der erschöpfenden Zusammenfassung der Kanalstrahlen-Arbeiten durch W. Wien auch unsere Beobachtung der Szintillation der Kanalstrahlen (Seite 15) erwähnt, die Realität dieses Effekts aber aus energetischen Gründen bestritten worden. Auf Seite 9 wird berechnet, daß beim Auftreffen eines Wasserstoff-Kanalstrahlteilchens von 10^8 cm/sec Geschwindigkeit auf einen Sidot-Blendeschirm die erregte Lichtemission $0{,}4 \cdot 10^{-10}$ erg beträgt; da die Reizschwelle des Auges nach v. Kries bei $2 \cdot 10^{-10}$ erg liegt, so ergibt sich, daß die Beobachtung der Szintillation mit Kanalstrahlen von 10^8 cm/sec nicht möglich ist. Wir haben aber auch bei unseren Versuchen über Szintillation derartig langsame Strahlen nicht benutzt, sondern Strahlen, deren Geschwindigkeit mindestens $3 \cdot 10^8$ cm/sec betrug. Wir können diese Zahl als ganz sicher bezeichnen, da die Untersuchung mit derselben Apparatur erfolgte, mit der der eine von uns die Geschwindigkeit der Strahlen nach direkter Methode (Handbuch d. Radiologie, Bd. 4, S. 120) zu $2{,}51 \cdot 10^8$ cm/sec gefunden hat. Bei dieser Geschwindigkeitsmessung war aber absichtlich, um konstante Verhältnisse zu erhalten, nicht mit den härtesten erzeugbaren Strahlen gearbeitet worden, während sich umgekehrt die Szintillation nur bei Anwendung der schnellsten, mit der Apparatur erzielbaren Strahlen beobachten ließ, so daß die Geschwindigkeit dieser sicher erheblich über $3 \cdot 10^8$ cm/sec lag, und demgemäß die Energie des erregten Lichtes $3{,}6 \cdot 10^{-10}$ erg überschritt. Gerade der Umstand, daß sich die Szintillation nur bei stärkster Forcierung des Rohres beobachten ließ, worauf auch in unserer ersten Veröffentlichung[1]) ausdrücklich hingewiesen wurde, beweist wohl die Realität des Effekts.

Die Szintillation der Kanalstrahlen bietet daher einen Weg, die erwähnte Reizschwelle des Auges zu ermitteln und es ist beabsichtigt, sobald eine Apparatur geschaffen ist, welche Strah-

1) Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. 1910, S. 531.

len der erforderlichen Härte in genau meßbarer Weise herzustellen gestattet, die Konstante in dieser Weise zu bestimmen.

Freiburg Br. u. Hamburg, 6. Febr. 1919.

(Eingegangen 14. Februar 1919.)

Magnetische Mittelwerte des Jahres 1918.

Von Ad. Schmidt.

Nach den Beobachtungen des Potsdamer Magnetischen Observatoriums des Preußischen Meteorologischen Instituts waren die Durchschnittswerte der Elemente während des verflossenen Jahres:

westliche Deklination . .	$7^0 49',3$
nördliche Inklination . .	$66^0 30',9$
Horizontalintensität . . .	$0,18646\,\Gamma$.

Die Änderungen gegen das Vorjahr betrugen (vgl. diese Zeitschr. **19**, 195, 1918): $-9,1$, $+1,7$, $-25\,\gamma$. Sie stimmen innerhalb der Grenzen der Sicherheit, die man den Jahresmittelwerten zuschreiben kann, mit den Differenzen von 1917 gegen 1916 überein.

Für andere Orte in Deutschland entnimmt man die Werte der magnetischen Elemente am besten den von K. Haußmann bearbeiteten „Magnetischen Übersichtskarten von Deutschland für 1912" (Petermanns Mitteilungen 1913), indem man ihnen zur Umrechnung auf die Mitte des laufenden Jahres (1919,5) die Korrektionen $-1^0 10'$, $+12'$ und $-0,0018\,\Gamma$ hinzufügt. Für die in den „Veröffentlichungen des Meteorologischen Instituts" (Nr. 217, 224, 276) erschienenen „Magnetischen Karten von Norddeutschland und Südwestdeutschland sind die entsprechenden Reduktionen $-1^0 34'$, $+12'$, $-0,0022\,\Gamma$.

Entsprechend der kräftigen Sonnenflecken-Entwicklung (die Wolf-Wolfersche Relativzahl betrug im Jahresmittel 77,6) war das Jahr reich an Störungen, unter denen sich indessen keine besonders starke befand.

(Eingegangen 14. Februar 1919.)

Berichtigung

zur Arbeit von T. Heurlinger, Zur Theorie der Bandenspektren. (Diese Zeitschr. **20**, 188—190, 1919.)

Die Fußnote S. 189 soll lauten: Auch in den Zeilen kann ein systematischer Gang nicht festgestellt werden.

Personalien.

(Der Herausgeber bittet die Herren Fachgenossen, der Schriftleitung von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)

Habilitiert: An der Technischen Hochschule Karlsruhe Dr. A. v. Antropoff (früher Dozent für Physikalische Chemie am Polytechnikum in Riga, zuletzt Leiter des Radiologischen und Chemischen Laboratoriums an der Zentralkammer für Maße und Gewichte in Petersburg) für Radioaktivität, an der Universität Königsberg Dr. Hans Falckenberg für Mathematik.

Berufen: Der ord. Professor für Astronomie an der Universität Straßburg Dr. Julius Bauschinger in gleicher Eigenschaft an die Universität Königsberg, der Privatdozent an der Technischen Hochschule Berlin und ständiges Mitglied des Aufsichtsamtes für Privatversicherung Regierungsrat Dr. Paul Eugen Böhmer zum ord. Professor der Versicherungsmathematik an der Technischen Hochschule Dresden.

Ernannt: Der a. o. Professor an der Universität Göttingen Dr. Richard Zsigmondy zum ord. Professor für anorganische Chemie ebendaselbst, der Repetitor an der Universität Lüttich Apotheker Dr. Huybrechts zum a. o. Professor für analytische Chemie daselbst, Dr. Heinrich Wigge zum Adjunkten am Physikalischen Institut des Polytechnikums in Köthen mit einem Lehrauftrag für Physik, Mathematik und Funkentelegraphie, D. Mac Candish zum ord. Professor für angewandte Chemie an der Universität Leeds, J. R. Partington Lecturer an der Universität Manchester zum ord. Professor für Chemie am East London College, an der Universität Hamburg zu ord. Professoren Dr. Paul Rabe für Chemie, Dr. Rich. Schorr für Astronomie, der Privatdozent für Mathematik an der Universität Frankfurt/M. (früher a. o. Professor an der Universität Straßburg), Dr. Richard Edler v. Mises zum ord. Professor für Festigkeitslehre, Hydromechanik und Aeromechanik an der Technischen Hochschule Dresden.

Neue Lehraufträge: An der Universität Berlin Professor Dr. Otto v. Baeyer für Elektronik und Ionik und Professor Dr. Otto Hahn (Mitglied des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Chemie) für Radioaktivität.

In den Ruhestand: Der ord. Professor für analytische Chemie an der Universität Lüttich L. L. de Koninck, der ord. Professor für Astronomie und Direktor der Sternwarte in Königsberg Dr. Hans Battermann, der ord. Professor der Mathematik an der Universität Freiburg i. B. Geh. Hofrat Dr. Ludwig Stickelberger (mit dem Titel und Rang eines ord. Honorarprofessors).

Gestorben: Der Privatdozent für drahtlose Telegraphie und Hochfrequenzmaschinen an der Technischen Hochschule Zürich D. Korda.

Vorlesungsverzeichnis für das Sommersemester 1919.

Technische Hochschule Aachen.

Starke: Experimentalphysik II, 4; Übungen im physikalischen Laboratorium: a) Praktikum, nach Verabredung, b) Anleitung zu selbständigen physikalischen Untersuchungen, tägl. — **Seitz:** Theoretische Physik, 2; Experimentalphysik enzyklopädischer Kurs, 2. — **Steubing:** Photographie I und II, 1, Übungen, 2—3; Theorie der Wärmestrahlung, 1. — **Hopf:** Quantentheorie, 1; Variationsprinzipien der Mechanik, 1. — **Polis:** Klimatologie, 2; Ausgewählte Kapitel der Meteorologie, 1; Meteorologische Technik, 1, Übungen, 2—4. — **N. N.:** Allgemeine Elektrotechnik, 5; Theoretische Elektrotechnik, 2; Elektrotechnisches Praktikum, 8 und 5. — **N. N.:** Ausgewählte Kapitel der praktischen Elektrotechnik, 1; Einleitung in die Elektrotechnik, 2; Konstruktionslehre der Elektrotechnik, 3; Elektrotechnische Konstruktionsübungen, 2. — **Finzi:** Elektrische Zentralanlagen und Leitungen, 2, Übungen, 2; Elektromotorische Antriebe in Berg- und Hüttenwerken, 2. — **Schreber:** Technische Thermodynamik, 2; Besprechungen neuerer Arbeiten auf dem Gebiete der Wärmekraftmaschinen, 1. — **Fischer:** Grundzüge der Hochspannungstechnik, 2. —

Bredt: Organische Experimentalchemie I, 4; Allgemeine Übersicht über die organische Chemie, 2; Organisches Praktikum, tägl. — **Classen:** Allgemeine und an-

organische Experimentalchemie, 4; Anorganisches Praktikum, tägl. außer Sonnabend; Elektroanalytisches und elektrochemisches Praktikum, tägl. außer Sonnabend. — **Wilski**: Markscheiden und Feldmessen II, 3, Übungen, 1 Tag; Geophysik, 1. — **Rau**: Chemische Technologie II, 2, IV, 2; Entwerfen von chemischen Apparaten und Fabrikanlagen, Übungen, 4; Chemisch-technisches Praktikum, tägl., für Bergleute, 12. — **Ruer**: Physikalische Chemie II, 2; Ausgewählte Kapitel der physikalischen Chemie, 1; Übungen in physikalischer Chemie für Hüttenleute, 3, für Chemiker, 1 Vormittag, für Fortgeschrittene, tägl. außer Sonnabend; Allgemeines hüttenmännisches Praktikum, 3. — **Fischer**: Maßanalyse und Gasanalyse, 1; Spezielle Elektrochemie, 1. — **Kapff**: Chemische Technologie der Gespinstfasern: Färberei, Bleicherei usw., 2, Übungen, 4. — **N. N.**: Markscheiderische Zeichen- und Rechenübungen, 2. — **Levy**: Heterozyklische Verbindungen, 2. — **Lipp**: Über organisch-analytische Arbeitsmethoden, 1. —

Blumenthal: Höhere Mathematik I, 6, Übungen, 2; Ausgewählte Kapitel der Mathematik, 2 *g*. — **N. N.**: Höhere Mathematik III, 3; Elemente der Differential- und Integralrechnung, 5, Übungen, 1. — **v. Kármán**: Mechanik I, 4, Übungen, 1, II, 3, Übungen, 1; Flugtechnische Aerodynamik, 2 *g*. — **Kötter**: Darstellende Geometrie II, 2, Übungen, 2; Elemente der darstellenden Geometrie, 2, Übungen, 2. — **Gasiorowski**: Oberflächen zweiter Ordnung, 2. — **Gast**: Praktische Geometrie I, 2, II, 1; Geodätisches Praktikum I, 1 Tag, II, 4; Geodätische Ausarbeitungen, 4; Geographische Ortsbestimmung, 2, Übungen, 2. —

Universität Basel.

Hagenbach: Experimentalphysik I, 6; Physikalisches Praktikum für Vorgerücktere, ganztägig, für Anfänger (mit Veillon und Zickendraht), 8; Demonstrationsversuche, 1; Physikalisches Kolloquium, 14 tägig, 2 *g*. — **Matthies**: Strahlungs- und Quantentheorie, 4, Übungen, 1 *g*; Einführung in die analytische Behandlung der Naturwissenschaften, 2; Mathematisch-physikalisches Seminar, 2 *g*. — **Veillon**: Vektoranalysis, 1; Handfertigkeits-Praktikum (mit Zickendraht), 2. — **Zickendraht**: Das magnetische Feld und seine Anwendungen, 2. — **Zehnder**: Geschichte der Physik, 2; Physikalische Weltanschauungen I: Mikrokosmos, 2. —.

Rupe: Chemisches Vollpraktikum für organische Chemie, tägl.; Chemie der Benzolderivate, 4; Chemisches Kolloquium (mit Fichter und Bernoulli), 1 *g*. — **Fichter**: Anorganische Experimentalchemie, 6; Analytisches Halbpraktikum für Chemiker und Pharmazeuten, 9, Übungen in der qualitativen Analyse für Mediziner, 9; Chemisches Vollpraktikum: Anorganische und elektrochemische Übungen und Arbeiten, tägl. — **Bernoulli**: Allgemeine physikalische Chemie, 2; Chemisches Praktikum für Lehramtskandidaten und Naturwissenschaftler, 9; Physikalisch-chemisches Praktikum für Anfänger, 4; Vollpraktikum, tägl. — **Kreis**: Chemie der Nahrungs- und Genußmittel I, 2; Übungen in der Untersuchung von Lebensmitteln, 4; Arbeiten im Laboratorium für angewandte Chemie, tägl. —

Mohrmann: Algebra, 4, Übungen, 1; Ausgewählte Kapitel der Geometrie, 4; Mathematisches Seminar (mit Spieß), 1 *g*. — **Spieß**: Differential- und Integralrechnung II, 4, Übungen, Proseminar, 1; Einleitung in die Theorie der analytischen Funktionen, 3. — **Niethammer**: Sphärische Astronomie, 3; Theorie astronomischer Instrumente, 1 *g*; Astronomische Übungen, für Vorgerückte, 3, für Anfänger, 3. — **Flatt**: Pädagogisches Seminar, mathematisch-naturwissenschaftliche Abteilung II, 2; Methoden der darstellenden Geometrie, 2; Geschichte und Methodik der physischen Erziehung, 1. —

Universität Berlin.

Rubens: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik und Wärmelehre, 5; Experimentalvorträge über Licht und Elektrizität, 1 *g*; Physikalisches Kolloquium, $1^1/_2$ *g*; Arbeiten im Physikalischen Laboratorium für Geübtere (mit Wehnelt), tägl. — **Planck**: Mechanik deformierbarer Körper, 4; Mathematisch-physikalische Übungen, 1 *g*. — **Wehnelt**: Praktische Übungen für Anfänger I und II (mit Blasius), 7; Physikalisches Praktikum für Pharmazeuten, 3; Praktikum zur Erlangung von Handfertigkeit für das physikalische Arbeiten, 3; Mathematische Ergänzungen zum physikalischen Praktikum, 1 *g*. — **v. Laue**: Thermodynamik, 4; Mathematisch-physikalische Übungen, 1 *g*. — **Hellmann**: Theorie und Gebrauch der meteorologischen Instrumente, mit Übungen, $2^1/_2$; Meteorologisches Kolloquium, für Vorgerücktere, 1 *g*. — **Einstein**: Relativitätstheorie, $1^1/_2$. — **Hergesell**: Die wissenschaftliche Erforschung der freien Atmosphäre, 1. — **Kohlschütter**: Die Probleme der Erdmessung, 1. — **Warburg**: Kathodenstrahlen, 2. — **Schmidt**: Erdmagnetismus, mit praktischen Übungen, 2, Mathematische Ergänzungen, 1 *g*. — **Neesen**: Geometrische Optik und optische Instrumente, 2. — **Blasius**: Übungen zum Praktikum, 1 *g*. — **E. Meyer**: Ausgewählte Kapitel der technischen Mechanik, 2. — **Krigar-Menzel**: Verschiedene Gebiete der theoretischen Physik, 4. — **Leß**: Praktische Wetter- und Klimakunde, 1; Über die jeweiligen Witterungsvorgänge, 1 *g*. — **Byck**: Kinetische Gastheorie, 2; Aerodynamik, 2. — **v. Baeyer**: Physik der radioaktiven Strahlen, 1. — **Franck**: Experimentelle Grundlagen der Quantentheorie, 1; Anleitung zu wissenschaftlichen Untersuchungen für Fortgeschrittene, tägl. *g*. — **Gehrcke**: Ausgewählte Kapitel aus der Optik, 1. — **Grüneisen**: Theorie der Wechselströme, 2. — **Hertz**: Die Physik der Röntgenstrahlen, 1. — **Kiebitz**: Elektrische Schwingungen, 2. — **Reichenheim**: Physik der Sonne, 1 *g*. — **Henning**: Einführung in die theoretische Physik, 2. — **Reiche**: Elektronentheorie, 3. — **Westphal**: Das gesamte Spektrum, mit Experimenten, 1; Mathematische Ergänzungen zur Experimentalphysik, 1. — **Scheffer**: Praktikum der wissenschaftlichen Mikroskopie, einschließlich der technologischen Mikroskopie, für Fortgeschrittene, nach Verabredung; Praktikum der wissenschaftlichen Photographie, für Fortgeschrittene, nach Verabredung. —

Fischer: Praktische Arbeiten im chemischen Laboratorium (mit Gabriel, Traube, Leuchs, Schrauth und Tiede), tägl.; Kursus für Mediziner und Zahnärzte, 6. — **Nernst**: Anorganische Experimentalchemie, 5; Anorganisch-chemisches Praktikum (mit Marckwald), tägl.; Physiko-chemische Übungen, 7; Physikochemische Arbeiten, tägl.; Physikochemisches Kolloquium, 1 *g*; Galvanische Stromerzeugung, 1 *g*. — **Beckmann**: Chemische Untersuchungen im Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie, tägl. *g*. — **Wichelhaus**: Technologie für Chemiker: Anorganische Stoffe, 4; Übungen im Technologischen Institut (mit Großmann und Houben), tägl.; Anleitung im Institut (mit Großmann und Houben), tägl. — **Gabriel**: Organische Experimentalchemie, 5. — **Thoms**: Pharmazeutische Chemie, organischer Teil, 4; Praktische Übungen und Arbeiten in pharmazeutischer, toxikologischer, physiologischer und Nahrungsmittelchemie (mit Rosenmund), tägl.; Nahrungsmittelchemie, $1^1/_2$. — **Traube**: Qualitative chemische Analyse, mit Experimenten, $1^1/_2$. — **Stock**: Anorganisch-chemische Arbeiten, tägl. — **Biedermann**: Explosivstoffe, 2. — **Neuberg**: Arbeiten auf dem Gebiete der Biochemie, tägl.; Organisch-chemische Arbeiten, tägl. — **Pschorr**: Organische Chemie II, 4. — **Fock**: Physikalische Chemie, 1; Kristallchemie, 1. — **Rosenheim**: Anorganisch-chemisches Praktikum (mit R. J. Meyer), tägl.; Übungen in der Experimentalchemie (mit R. J. Meyer), 8; Praktische Übungen in der Gas- und Maßanalyse, 4. — **Jacobson**: Besprechung chemischer Tagesfragen, 1. — **Spiegel**: Anorganische Chemie, 3. — **Großmann**: Der Krieg und die chemische Industrie im In- und Auslande, 1; Chemische Warenkunde und Weltwirtschaft II: Die pflanzlichen und kolonialen Rohstoffe, mit Exkursionen, 1; Besprechung chemisch-technischer und wirtschaftlicher Tages-

fragen, $1^1/_2$. — **Leuchs**: Einführung in die organische Chemie II, 1. — **Pringsheim**: Einführung in die physiologische Chemie, 1. — **Lockemann**: Geschichte der Chemie, 1. — **R. J. Meyer**: Kolloquium über wichtige Abschnitte aus der anorganischen und physikalischen Chemie, für Anfänger und Fortgeschrittenere, $1^1/_2$. — **Rosenmund**: Qualitative chemische Analyse, 1; Gewichts- und Maßanalyse, 1. — **Tiede**: Einführung in das chemische Studium, 1. —

Schottky: Analytische Geometrie der Ebene, 4; Allgemeine Funktionentheorie, 4; Mathematisches Seminar, 2 *g*. — **Foerster**: Geschichte der Astronomie, $1^1/_2$ *g*; Grundlehren der Zeit- und Ortsbestimmung, 1 *g*; Tierkreislicht und Polarlicht, 1 *g*. — **Schmidt**: Integralrechnung, 4, Übungen, 2; Determinanten, 4; Mathematisches Seminar, (mit Carathéodory), 2 *g*. — **Struve**: Sphärische Astronomie I, 3; Übungen an den Instrumenten der Sternwarte, nach Verabredung, *g*. — **Cohn**: Einführung in die Himmelsmechanik, 4; Übungen zur sphärischen Astronomie, 2 *g*. — **Carathéodory**: Projektive Geometrie, 4; Analytische Mechanik, 4. — **Rothe**: Differentialrechnung, 4, Übungen, 1. — **Knopp**: Einführung in die höhere Mathematik, 4; Höhere Funktionentheorie, 4; Mathematisches Proseminar (mit Schur), 14 tägig, 2 *g*. — **Guthnick**: Photographie der Gestirne, 2; Das Sonnensystem, 1 *g*. — **Schur**: Zahlentheorie, 4; Algebraische Gleichungen: Galoissche Theorie, 4. — **Marcuse**: Geographische Ortsbestimmung am Lande, auf See und in der Luft, mit Übungen, $1^1/_2$; Allgemeine Himmelskunde, mit Lichtbildern und Fernrohrbeobachtungen, $1^1/_2$; Astronomische Geographie und Erdphysik, mit Lichtbildern, $1^1/_2$. — **Witt**: Wissenschaftliches Rechnen, 2; Übungen an den Instrumenten der Übungssternwarte, 6 *g*. — **Schweydar**: Theorie der Elastizität der Erde, 2. —

Technische Hochschule Berlin.

Kurlbaum: Experimentalphysik: Wärme, Optik, 4; Physikalische Übungen, 16. — **Grunmach**: Magnetische und elektrische Maßeinheiten und Meßmethoden, 2; Physikalische Maßbestimmungen und Meßinstrumente (Physikalische Übungen), 10. — **Kalischer**: Die physikalischen Grundlagen der Elektrotechnik I, 2; Elektromagnetismus und Induktion mit besonderer Berücksichtigung der Elektrotechnik, 4; Grundzüge der Elektrotechnik, 2. — **Korn**: Ausgewählte Kapitel der Elastizitätstheorie, 2. — **Krigar-Menzel**: Theorie des Lichts, 4; Theorie der Wärmeleitung und der Strahlung, 2. — **Berndt**: Luftelektrizität, 1. — **Felgentraeger**: Maß- und Gewichtswesen II, 2; Die Meßinstrumente des Chemikers, 2. — **Gehlhoff**: Elektronentheorie der Metalle, 1. — **Kaßner**: Der Wind nach Entstehung, Messung und Ausnutzung für Hoch- und Hafenbau, See- und Luftschiffahrt, sowie für Windmotorenbau, 1. — **Kock**: Methoden zur Aufnahme von schnell verlaufenden elektrischen und magnetischen Erscheinungen: Oszillographen usw., 2; Meßmethoden der drahtlosen Telegraphie, 2. — **Möller**: Beleuchtungstechnik, 1. — **Petzoldt**: Die Relativitätstheorie, 1 *g*. — **Pirani**: Anwendungen der graphischen Darstellung und des graphischen Rechnens auf physikalische Fragen, 1. — **Orlich**: Theoretische Elektrotechnik I, 2, Übungen, 1; Elektrotechnische Meßkunde I und II, 2; Elektrotechnisches Laboratorium I, II und III, 4; Elektrotechnisches Laboratorium für Fortgeschrittene, tägl. — **Wedding**: Elektromaschinenbau I und II, 2; Beleuchtungstechnik, 2; Beleuchtungstechnisches Laboratorium, 3, für Fortgeschrittene, tägl.; Elektrotechnik für Bergleute, 2, Übungen, 1. — **Franke**: Elektrische Fernmeldetechnik einschließlich drahtlose Telegraphie II: Anlagen, 4, Übungen, 1; Entwerfen von Instrumenten und Apparaten der Meß- und Fernmeldetechnik, Übungen, 2; Entwerfen von Anlagen der Fernmeldetechnik, Übungen, 2; Laboratorium für Fernmeldetechnik, 6, für Fortgeschrittene, tägl. — **Kloß**: Elektromaschinenbau I, 4, Übungen, 1, III, 2; Entwerfen elektrischer Maschinen I, Übungen, 4, III, Übungen, 8; Elektrotechnisches Versuchsfeld, 4, für Fortgeschrittene, tägl. — **v. Parseval**: Flugzeuge, 2. — **W. Reichel**: Elektrische Kraftanlagen und Bahnen II, 2; Entwerfen elektrischer Kraftanlagen und Bahnen, 4. — **Becker**: Flugmotoren und Luftschiffmotoren, 2. — **Benischke**: Allgemeine Wechselstromtechnik, 4. — **Breslauer**: Berechnung und Prüfung elektrischer Maschinen nach den in der Praxis herrschenden Gepflogenheiten, 2. — **Everling**: Messungen an und in Luftfahrzeugen, 1; Steigfähigkeit von Luftfahrzeugen, 1. — **Faßbender**: Elektrische Messungen und Meßmethoden in Hochfrequenzkreisen und ihre praktische Anwendung in der drahtlosen Telegraphie, 2; Technische Grundlagen der Elektromedizin, mit Demonstrationen, 2. — **Philippi**: Über elektrisches Förder- und Signalwesen. — **Rüdenberg**: Selbstinduktion und Streuung in elektrischen Maschinen, 2. — **Wagner**: Elektrische Wirbelströme, 2. — **Zehme**: Elektrische Stadtschnellbahnen und Vorortsbahnen, 2. — **Krell**: Schiffselektrotechnik, 2. — **Dietzius**: Luftschiffbau und Luftschiffahrt, 1. — **Schaffran**: Luft- und Wasserpropeller-Versuche, 1. — **Günther**: Anwendung der Photographie zum Messen in der Technik: Photogrammetrie, mit Lichtbildern und Demonstrationen, 2. —

Hofmann: Experimentalchemie, 4; Experimentalchemie: Chemie der Metalle mit Einführung, 4; Gasanalyse, 2. — **Dolezalek**: Angewandte Elektrochemie, 2; Kleines physikalisch-chemisches und elektrochemisches Praktikum, 2 halbe Tage; Praktische Arbeiten im physikalisch-chemischen und elektrochemischen Institut, tägl. — **Holde**: Untersuchung der Kohlenwasserstofföle und verwandte Produkte: Schmieröle, Treiböle, Leuchtöle, Paraffin, Ceresin, Asphalt usw., 2. — **Juckenack**: Chemie der Nahrungsmittel mit Berücksichtigung der Nahrungsmittelanalyse und Bakteriologie, 4; Chemisch-technische Analyse, 2. — **Miethe**: Spektralanalyse, mit Übungen, 2; Photochemie und photochemische Prozesse, 2; Konstruktionstypen photographisch-optischer Instrumente, 1; Praktische Arbeiten im photochemischen Laboratorium, speziell für Photochemiker, tägl.; Photographische Übungen in den gebräuchlichen Prozessen, 16. — **Pschorr**: Organische Chemie II: Aromatische Reihe, zyklische Verbindungen, Farbstoffe, Alkaloide usw., 4; Praktische Arbeiten im organischen Laboratorium, tägl. — **Reisenegger**: Chemische Technologie II: Organische Verbindungen, Faserstoffe, Papier, Leder, Fette, Öle, Seifen, Farbstoffe, Beleuchtung, Trockene Destillation, Gasbereitung, Kokerei, Teerdestillation, Holzschwelerei, Braunkohle, Erdöl, mit Exkursionen, 4; Praktische Arbeiten im technisch-chemischen Institut, tägl. — **Traube**: Thermochemie, 2; Physikalisch-chemische Übungen, 3; Chemie der Kolloide, 1. — **Stavenhagen**: Anorganische Experimentalchemie, für Bergleute, 4; Praktische Arbeiten im Chemischen Laboratorium der Bergbau-Abteilung, tägl.; Einführung in die Experimentalchemie, 2. — **Wölbling**: Analytische Chemie, für Bergleute, 2; Chemisches Kolloquium, für Bergleute, 1. — **Arndt**: Anwendungen der physikalischen Chemie auf technische Vorgänge, 1. — **Börnstein**: Verbrennung und Heizung, 1. — **Bucherer**: Die Grundzüge der Färberei und Druckerei, 1. — **Byk**: Chemie der photographischen Prozesse, 1. — **Endell**: Ausgewählte Kapitel der Mineralchemie nebst technischen Anwendungen, 1. — **v. Girsewald**: Praktische Kalorimetrie, mit Übungen, 2. — **Guertler**: Metallographie II, spezielle Konstitutionslehre, Messing-, Bronze-, Kupfer-, Aluminium-, Zink- usw. Legierungen, 2. — **Hanemann**: Ausgewählte Abschnitte aus der Metallographie, 1. — **Herrmann**: Radioaktive Prozesse, 1. — **Just**: Chemische Elektronenlehre, 1. — **Lehmann**: Die Farbenphotographie, 1. — **Liebermann**: Methoden zur Konstitutionsbestimmung organischer Verbindungen, 1. — **Loewenherz**: Erläuternde Vorträge zu den Führungen durch das Chemische Museum, organischer Teil, 1 *g*; Die Produkte der chemischen Industrie, ausgewählte Kapitel im Anschluß an die Sammlungen des Chemischen Museums, organischer Teil, 1 *g*. — **Schaarschmidt**: Die Rohprodukte der Teerfarbenindustrie, 2; Färberkursus, Übungen, 4. — **Scheibler**: Über heterozyklische Verbindungen,

1. — **Seegert**: Ausgewählte Kapitel aus der Spektralanalyse, 1. — **Simonis**: Organische Analyse und Arbeitsmethoden, 2. — **Ullmann**: Arbeitsmethoden der Farbenindustrie, 1. — **Voswinckel**: Terpene und Kampfer, 1. — **Wirth**: Analytische Chemie, 1. — **Wolffenstein**: Die neueren Arzneimittel und ihre Fabrikation, 2. —

Scheffers: Darstellende Geometrie II, 5, Übungen, 5. — **N. N.**: Höhere Mathematik: Differential- und Integralrechnung, Analytische Geometrie, 6, Übungen, 2. — **Haentzschel**: Elemente der Mechanik, 4. — **Jolles**: Darstellende Geometrie II, 4, Übungen, 4. — **Hamel**: Höhere Mathematik: Differential- und Integralrechnung, Analytische Geometrie, 6, Übungen, 2. — **Rothe**: Höhere Mathematik: Differential- und Integralrechnung, Analytische Geometrie, 6, Übungen, 2; Differentialgleichungen, 2. — **Wallenberg**: Ausgewählte Kapitel der Elementarmathematik, 2; Funktionentheorie II, 2; Variationsrechnung, 2. — **Schuberg**: Mechanische Technologie, für Chemiker, 2; Maschinenelemente, mit Übungen im Maschinenzeichnen, für Chemiker, 1, Übungen, 3; Baukonstruktionslehre, 2, Übungen, 4; Die technischen Einrichtungen chemischer Fabriken I, 1, Übungen, 3. — **Jahnke**: Analytische Geometrie und algebraische Analysis, für Bergleute, 3; Höhere Mathematik und technische Mechanik I und II, 7, Übungen, 2; Ausgleichungsrechnung, für Bergleute, 4. — **Haußmann**: Vermessungskunde II und Meßübungen II, 4, Übungen, 4; Planzeichnen und zugleich Bearbeitung der Aufnahmen, nach Vereinbarung. — **Reißner**: Mechanik und graphische Statik I, 4, Übungen, 2; Ausgewählte Kapitel der Mechanik, 2 *g*. — **Wolff**: Niedere Geodäsie im Abriß, Aufnahme und Bearbeitung eines Höhen- und Lageplanes, 1, Übungen, 1 Nachmittag. — **W. Hartmann**: Kinematische Geometrie und theoretische Kinematik, 2. — **E. Meyer**: Mechanik I, 4, Übungen und Festigkeits-Laboratorium, 3; Ausgewählte Kapitel der Technischen Mechanik, 2. — **Fuchs**: Lineare Differentialgleichungen, 2. — **Jacobsthal**: Besselsche Funktionen und Kegelfunktionen, 2. — **Lichtenstein**: Darstellende Geometrie, 2, Übungen, 2. —

Universität Bern.

Forster: Experimentalphysik I: Allgemeine Physik, Akustik, Optik, 6; Wärmelehre (Schluß), 1 *g*; Repetitorium der Physik, 2; Theoretisch-praktischer Kurs der Photographie, 2; Physikalisches Praktikum, 4; Arbeiten im physikalischen Institut für Vorgerücktere, nach Verabredung. — **Gruner**: Analytische Mechanik, 3, Übungen, 1; Interferenz- und Beugungserscheinungen, 1; Seminar für theoretische Physik, 2; Einführung in die mathematische Behandlung naturwissenschaftlicher Probleme, 2. — **Blattner**: Elektrizitätswerke und elektrische Bahnen (Fortsetzung und Schluß), 1; Theorie der Wechselströme (Fortsetzung und Schluß), 1; Generatoren, Transformatoren, Motoren, 1. — **Luterbacher**: Meteorologische Faktoren mit Berücksichtigung der aeronautischen Meteorologie, 2; Dynamik, ausgewählte Kapitel, 1 oder 2. — **Koestler**: Wissenschaftliche Grundlagen der Elektrotechnik, 2; Elektrische Energieübertragung mit besonderer Berücksichtigung der modernen Hochspannungstechnik, 1—2; Graphisches Rechnen, ausgewählte Kapitel, nach Verabredung; Rechenschieber, Log.-Papier, graphische Statik, Elektrographik, 2. —

Kohlschütter: Anorganisch-chemisches Praktikum, tägl.; Chemisches Praktikum für Mediziner, 8; Anorganische Chemie: Spezieller Teil, 4; Kolloquium über anorganische Chemie, 1. — **Ephraim**: Analytische Chemie, 3; Elektrochemie, 2; Gasanalytisches Praktikum, 3. — **Mai**: Repetitorium der anorganischen Chemie, für Mediziner und Lehramtskandidaten, 1. — **Frl. Woker**: Arbeiten im Laboratorium für physikalisch-chemische Biologie, tägl.; Kurs für die Untersuchung der Körperflüssigkeiten: Harn, Blut, Magensaft, Milch, 4; Die wichtigsten Fermente der Pflanzen und Tiere, ihre Theorie und ihre Wirkungen, 1; Praxis der Untersuchungsmethoden, 1; Ausgewählte Kapitel aus dem Gebiete der physikalisch-chemischen Biologie mit besonderer Berücksichtigung des Assimilationsproblems der Kohlensäure, 2. — **Tambor**: Organische Chemie I, 6, Repetitorium, 1; Organisch-chemisches Vollpraktikum, tägl. — **Abelin**: Chemie der Eiweißkörper, 1. — **Schaffer**: Chemie der Nahrungs- und Genußmittel II, 2; Chemische Technologie der milchwirtschaftlichen Gewerbe, nach Verabredung. —

G. Huber: Analytische Geometrie des Raumes mit Theorie der Flächen zweiten Grades, 2; Theorie der Hüllkurven und Brennlinien, 2; Einleitung der Differentialgeometrie der Flächen, 1; Sphärische Astronomie II, 2; Mathematisches Seminar, 2. — **N. N.**: Höhere Analysis, nach Verabredung. — **Crelier**: Algebraische Analysis I, 3; Differentialrechnung, 2; Analytische Geometrie, 2; Darstellende Geometrie I, 2, III, 2; Synthetische Geometrie: Einleitung, 2; Ebene und sphärische Trigonometrie, 2; Mathematische Übungen, 3. — **Berliner**: Höhere Algebra (Fortsetzung), 1—2; Theorie der Kettenbrüche, 1—2. — **Mauderli**: Astronomische Beobachtungspraxis II: Theorie der wichtigsten astronomischen Beobachtungs- und Meßinstrumente, 2; Wissenschaftliches Rechnen II: Numerische Differentiation und Integration, 2; Astronomische Phänomenologie, 1; Unser Sternensystem, mit Lichtbildern, 1. — **Moser**: Intensitätsfunktionen und ihre Verwendung zur Invalidierungs- und Sterblichkeits-Messung, 2; Mathematische Grundlagen der Witwen- und Waisenversicherung, nach Verabredung; Mathematisch-versicherungswissenschaftliches Seminar, 1–2. — **Bohren**: Ausgleichungsrechnung, 2. —

Universität Bonn.

Kayser: Experimentalphysik I: Mechanik, Wärme, Akustik, 5; Laboratorium für Anfänger, 8, für Vorgeschrittene, tägl. — **Pflüger**: Theorie des Lichtes, 4, Übungen, 1. — **Eversheim**: Übungen für Lehramtskandidaten im Experimentalvortrag, mit Handfertigkeitspraktikum, 2; Physikalisches Praktikum für Mediziner, 2; Grundzüge der Elektrotechnik, 1 *g*. — **Grebe**: Theorie der Wärme, 3; Meteorologie, 2. —

Anschütz: Experimentalchemie I: Anorganische Chemie, 6; Kolloquium über neuere Arbeiten auf dem Gebiete der Chemie, 1 *g*; Chemisches Praktikum für Anfänger und Vorgeschrittene sowie für Nahrungsmittelchemiker (mit Benrath, Frerichs und Kippenberger), tägl., für Mediziner (mit Benrath), tägl. außer Sonnabend. — **Rimbach**: Physikalische Chemie II: Thermochemie und Elektrochemie, 3; Chemisches Rechenseminar: Unterstufe: Stoechiometrische und chemisch-analytische Aufgaben, 14 tägig, 2 *g*; Oberstufe; Physikalisch-chemische Aufgaben, 14 tägig, 2 *g*, Übungen in den wichtigsten physikalisch-chemischen Meßmethoden, 3. — **Benrath**: Justus Liebig und seine Zeit, 1 *g*; Qualitative Analyse, 2; Übungen in der Gasanalyse, 3. — **Meerwein**: Aromatische Verbindungen der Benzolderivate, 2. — **Frerichs**: Toxikologische Analyse, 1; Pharmazeutische Chemie II (organisch), 3, III: Zyklische Verbindungen, 1 *g*. — **Mannheim**: Einführung in das chemische Praktikum, für Pharmazeuten, 1; Sterilisieren von Arzneimitteln, 1. — **Kippenberger**: Grundzüge der Nahrungsmittelchemie, 2; Chemische Technologie, organischer Teil (ausschließlich der Farbstoffe), mit Exkursionen, 2; Einführung in die chemische Großtechnik II: Organisch-chemische Betriebe, mit Exkursionen, 1 *g*; Besprechung technisch-chemischer Betriebskontrollen, 1 *g*. — **Gewecke**: Mikrochemische Analyse, 1. — **Laar**: Grundlagen der photographischen Verfahren, 2; Übungen in ausgewählten photographischen Verfahren, nach Verabredung. —

Beck: Mathematische Erdkunde, 2; Projektive Geometrie in synthetischer Behandlungsweise, 4; Differentialgleichungen, 3; Mathematisches Seminar: Mittelstufe, 1 *g*. — **Hahn**: Differential- und Integralrechnung I, 4; Analytische Darstellung willkürlicher Funktionen, insbesondere Fouriersche Reihen, 3; Mathematisches Seminar: Unterstufe: Übungen zur Differentialrechnung, 1 *g*. — **Study**: Sphärische Trigonometrie, 1; Kolloquium, 1—2 *g*;

Höhere Geometrie, 4; Mathematisches Seminar: Oberstufe (Vortragsübungen), 14 tägig, 2 *g*. — **J. O. Müller**: Zahlentheorie, 4. — **C. Müller**: Einführung in die Geodäsie mit Übungen, 2. — **Küstner**: Theorie und Praxis der astronomischen Instrumente, 3; Praktische Übungen im astronomischen Beobachten (mit Mönnichmeyer), nach Verabredung; Astronomisches Kolloquium, 1 *g*. — **Mönnichmeyer**: Gebrauch der astronomischen Jahrbücher, 1. —

Technische Hochschule Braunschweig.

Diesselhorst: Experimentalphysik: Ausgewählte Kapitel aus der Mechanik, Wärmelehre und Optik, 4; Wechselströme, 3; Physikalisches Praktikum I und II; Physikalisches Kolloquium, 14 tägig, 2 *g*. — **Bergwitz**: Radioaktivität der Erde und Atmosphäre, 1; Theoretische Telegraphie, 1. — **Witte**: Analytische Mechanik, 4. — **Peukert**: Elektrotechnische Messungen, 2; Allgemeine Elektrotechnik, 4; Grundzüge der Elektrochemie, 2; Elektrotechnisches Praktikum, 9; Arbeiten im elektrotechnischen Laboratorium, 9. — **Müller**: Elektromaschinenbau, 4, Übungen, 6; Elektrische Bahnen, 2; Grundzüge der Elektrotechnik, 2. — **Mosler**: Drahtlose Telegraphie, 2; Radiotelegraphisches Praktikum, 3. —

Fries: Organische Experimentalchemie, 6; Arbeiten im chemischen Laboratorium; Chemisches Kolloquium *g*. — **R. Meyer**: Geschichte der Chemie, 1. — **Biehringer**: Analytische Chemie, 2; Grundzüge der Chemie, 4. — **N. N.**: Elektrochemie, 2; Chemische Technologie I, 4. — **Reinke**: Chemische Technologie II 2, 4, Seminaristische Übungen, 1; Chemisch-technische Analyse II, 2; Enzyme, 2; Arbeiten im Laboratorium für chemische Technologie II und landwirtschaftlich-chemische Gewerbe. — **Schultze**: Agrikulturchemie, 2. — **Beckurts**: Abwässerreinigung, 1; Wasser- und Harnuntersuchung, 1; Pharmazeutische Chemie, 4; Arbeiten im Laboratorium für pharmazeutische Chemie und Nahrungsmittelchemie. — **Troeger**: Analytische Chemie, 2; Repetitorium der anorganischen und organischen Chemie, 2. — **Emde**: Alkaloide, 1. —

Fricke: Differential- und Integralrechnung I, 5, Übungen, 2; Ausgewählte Kapitel aus der Funktionentheorie, 2; Grundlagen der Theorie der Fourierschen Reihen, 1. — **Timerding**: Darstellende Geometrie, 3, Übungen, 4; Perspektive, 1, Übungen, 2; Einführung in die höhere Mathematik, 3, Übungen, 1. — **Schlink**: Technische Mechanik I: Statik, 2, Übungen und Repetitionen, 1, III: Hydraulik, Aerostatik und Aerodynamik, 4, Übungen und Repetitionen, 2; Die Grundlagen des Fliegens und die verschiedenen Arten von Flugzeugen, 1; Graphische Statik, 2, Übungen, 2; Ausgewählte Kapitel aus der Theorie der Konstruktionen, 2. — **Lührs**: Grundzüge der Geodäsie, 1, Übungen, 1; Geodäsie I, 5, Übungen, 2; Grundzüge der sphärischen Astronomie, 2, Übungen, 2; Vermessungsübungen I, 4, II, 9; Ausarbeitung geodätischer Aufnahmen, 3. —

Universität Breslau.

Lummer: Experimentalphysik I: Mechanik, Wärme, Akustik, 5; Physikalisches Praktikum für Geübtere (mit Schaefer, Waetzmann und Ladenburg), tägl., für Anfänger (mit Waetzmann, Ladenburg und Buchwald), 9. — **Schaefer**: Theorie der Elektrodynamik und Optik I, 5, Übungen, $1^1/_2$ *g*; Einführung in die statistische Mechanik, 1; Theoretisch-physikalisches Kolloquium über Tagesfragen, 2 *g*. — **Waetzmann**: Einführung in die theoretische Physik, 2. — **Ladenburg**: Vektorrechnung und ihre Anwendungen in der Physik, 2; Sichtbares und unsichtbares Licht, mit Demonstrationen, 1 *g*. — **Buchwald**: Geometrische Optik mit Vorführungen, 2; Das Bohrsche Atommodell, 1. —

Biltz: Unorganische Experimentalchemie, 6; Chemisches Praktikum, organische Abteilung, ganztägig, unorganische Abteilung, ganz- und halbtägig, tägl. außer Sonnabend, für Mediziner und Landwirte, 4; Chemische Referatenstunde für Vorgeschrittenere (mit Meyer und Koenigs), 14 tägig, $1^1/_2$ *g*. — **Herz**: Chemische Verwandtschaftslehre: Gesetz der Massenwirkung, Phasenlehre, Affinitätsmessung, 2; Grundlagen der Maßanalyse, 1; Anwendungen der Maßanalyse mit besonderer Berücksichtigung des Deutschen Arzneibuches, 1; Besprechungen zur qualitativen Analyse, 1 *g*. — **Meyer**: Grundlagen der analytischen Chemie, 2; Physikalische Chemie I, 2. — **Koenigs**: Benzolderivate, 2. — **Fischer**: Physik und Chemie der Geschosse, 1. — **Ehrlich**: Landwirtschaftliche Technologie II: Die Gärungsindustrien (Brennerei, Brauerei usw.), 2; Die Milch, ihre technische Verarbeitung und Verwertung, 1; Chemische, biochemische und technische Arbeiten, für Anfänger und Fortgeschrittene, tägl. außer Sonnabend; Gasanalytische und chemisch-technische Untersuchungen, 3; Einführung in die Chemie für Landwirte: Organischer Teil, 2; Biochemisches Kolloquium, 1 *g*. — **Gadamer**: Anorganische Experimentalchemie, mit besonderer Berücksichtigung der Pharmazie, 6; Praktisch-chemische Übungen mit besonderer Berücksichtigung der Pharmazie, der forensischen Chemie und Nahrungsmittelchemie, tägl.; Kleines chemisches Praktikum, 6; Prüfung der Arzneimittel, 1 *g*. —

N. N.: Zahlentheorie, 3. — **Kneser**: Analytische Mechanik, 5; Elementargeometrie, 2; Übungen des mathematisch-physikalischen Seminars, 2 *g*. — **N. N.**: Differentialrechnung, 4; Übungen des mathematisch-physikalischen Seminars, 2 *g*. — **Steinitz**: Analytische Geometrie, 5, Übungen, 1. — **Wilkens**: Praktische Astronomie: Instrumente und Beobachtungsmethoden, 3, Übungen, 2 *g*; Astronomisches Kolloquium, für Vorgerücktere, nach Verabredung, *g*. —

Technische Hochschule Breslau.

Lummer: Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Wärme, 5; Physikalisches Praktikum, 3. — **N. N.**: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Luftschiffahrt: Theorie der Flugzeuge, 2; Aeronautische und meteorologische Übungen, 2; Grundzüge der Meteorologie, 1; Physik der Erdfeste, 2. — **Hilpert**: Elektrotechnik II, 4; Elektromaschinenbau, 2; Apparatebau, 2; Übungen im Elektromaschinen- und Apparatebau, 4; Elektrotechnisches Laboratorium I, 4, III, 8. — **Euler**: Elektrotechnische Meßkunde I und II, 2; Elektr. Kraftanlagen II, 2; Elektrische Bahnen, 2; Übungen im Bau elektrischer Kraftanlagen und Bahnen, 4. — **N. N.**: Telegraphentechnik, 2. —

Ruff: Anorganisch-chemisches Praktikum, tägl.; Analytische Chemie, 3; Chemisches Kolloquium (mit Eucken, Neumann und Semmler), 14 tägig, 2 *g*. — **Eucken**: Physikalische Chemie I und II, 2; Physikalisch-chemisches Praktikum für Fortgeschrittene, tägl.; Übungen in physikalischer Chemie und Elektrochemie, 4. — **Neumann**: Anorganisch-chemische Technologie, 4; Chemisch-technisches Praktikum, tägl.; Elektrochemisch-technisches Praktikum, tägl.; Technische Berechnungen aus der chemischen Industrie, Metallurgie, Elektrochemie und Feuerungskunde, 1. — **Semmler**: Organisch-chemisches Praktikum, tägl.; Organische Experimentalchemie, 4; Abriß der organischen Chemie, 1. — **Nauß**: Einführung in die Gastechnik, 1. —

Dehn: Höhere Mathematik IV, 4, Übungen, 2; Ausgewählte Kapitel der Analysis, nach Verabredung. — **Hessenberg**: Darstellende Geometrie, 2, Übungen, 4; Analytische Geometrie, 3 — **Steinitz**: Höhere Mathematik II, 2, Übungen, 2; Vektoranalysis, 2. —

Technische Hochschule Danzig.

Krüger: Experimentalphysik II, 4; Kleines physikalisches Praktikum, 4; Großes physikalisches Praktikum, tägl.; Spezialvorlesung über ein physikalisches Gebiet, 2. — **Kalähne**: Einführung in das physikalische Praktikum, 1; Licht- und Wärmestrahlung, 1; Photographie und

photographische Reproduktionsverfahren, 1, Übungen für Anfänger und Fortgeschrittene, 3; Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten im photophysikalischen Laboratorium, tägl. — **Försterling**: Elektromagnetische Lichttheorie, 3. — **Roeßler**: Elektrotechnik I, 4, II, 2, Laboratorium, I, 4, II, 6, III, 9, IV, tägl. außer Sonnabend; Projektierung elektrischer Anlagen, 4; Berechnung und Entwurf elektrischer Maschinen (mit Roth), 1, Übungen, 4. — **Grix**: Elektrische Bahnen, 2, Übungen, 4; Berechnung elektrischer Leitungsnetze, 2. — **Roth**: Elektrotechnische Meßkunde, 2. — **Föttinger**: Ausgewählte Kapitel aus der Physik der technischen Strömungserscheinungen, 1. —

v. Wartenberg: Anorganisch-chemische Technologie I, 3, II: Technische Elektrochemie, 1; Praktikum im anorganisch-chemischen und elektrochemischen Laboratorium (mit Jellinek), tägl.; Physikalische Chemie I und II, 3; Kleines physikalisch-chemisches Praktikum I und II, 4; Großes physikalisch-chemisches Praktikum, tägl. — **Wohl**: Organische Experimentalchemie II, 2; Organisch-chemische Technologie I, 3; Praktikum im organisch-chemischen Laboratorium, tägl.; Praktikum im Laboratorium für landwirtschaftliche Gewerbe, tägl. — **Jellinek**: Analytische Chemie I, 2. —

v. Mangoldt: Höhere Mathematik I, 6, Übungen, 1. — **Lorenz**: Einführung in die Mechanik, 4, Übungen, 2; Ausgewählte Kapitel aus der Mechanik, 2 *g*. — **Sommer**: Höhere Mathematik II, 2, Übungen, 1; Einführung in die höhere Mathematik, 5. — **Schilling**: Darstellende Geometrie, 3, Übungen, 4; Graphische Statik, 2, Übungen, 3. — **v. Brunn**: Himmelsmechanik I: Bewegung der Schwerpunkte, 2. — **Eggert**: Geodäsie I, 2, II, 2; Praktische Übungen im Feldmessen, 4; Geodätisches Praktikum I, 2, II, 2; Geographische Ortsbestimmung, 2. —

Technische Hochschule Darmstadt.

Schering: Allgemeine Physik, mit Versuchen, 5; Physikalische Übungen (mit Zeissig), 4 Nachmittage; Selbständige Arbeiten aus dem Gebiete der Physik (mit Zeissig), nach Verabredung; Elektrische Schwingungen und elektrische Wellen, Maxwellsche Theorie der Elektrizität, mit Versuchen, 2; Theoretische Elektrizitätslehre, 2. — **Zeissig**: Allgemeine Physik, mit Versuchen, 4; Ausgewählte Kapitel aus der allgemeinen Physik, 1. — **Baerwald**: Allgemeine Elektronik II, 1 *g*; Quantentheorie, 2 *g*. — **Limmer**: Photographische Übungen A und B, für Anfänger und Fortgeschrittene, 3; Grundlagen der Photographie, 2; Farbenphotographie, 2; Grundlagen der Kinematographie, 1. — **Wirtz**: Allgemeine Elektrotechnik I: Elemente der Elektrotechnik, 3; Elektrotechnische Meßkunde, 2; Übungen im elektrotechnischen Laboratorium (mit Sengel), I, II und IV, 4 halbe Tage; Selbständige Arbeiten für Vorgeschrittenere: Praktikum III (mit Sengel und Petersen), nach Verabredung; Grundzüge der Telegraphie und Telephonie, 2; Radiotelegraphisches Praktikum. — **Petersen**: Allgemeine Elektrotechnik II: Gleich- und Wechselstromtechnik, 4; Übungen im Hochspannungslaboratorium, 6; Grundzüge der Hochspannungstechnik, 2. — **Sengel**: Konstruktion elektrischer Maschinen und Apparate, 3, Übungen, 3; Elektrische Licht- und Kraftanlagen, 2, Übungen, 2; Grundzüge der Elektrotechnik, 2. — **Goldschmidt**: Elektrischer Antrieb von Hebemaschinen und industrielle elektrische Betriebe, 2; Referate aus elektrotechnischen Fachblättern, Kolloquium, 1. —

Wöhler: Anorganische Experimentalchemie: Grundzüge der Chemie, 5; Kolloquium über chemische Tagesfragen (mit Martin), 1; Chemisches Praktikum für anorganische und physikalische Chemie (mit Heyl und Martin), tägl. außer Sonnabend. — **N. N.**: Agrikulturchemie, 1. — **Finger**: Ausgewählte Kapitel aus der organischen Chemie, 2; Teerfarbstoffe, 4; Praktikum im Laboratorium für organische Chemie (mit Friedlaender), tägl. außer Sonnabend; Färberei-Praktikum (mit Heuser), 4. — **Martin**: Analytische Chemie I, 2. — **Heuser**: Organisch-chemisches Praktikum, nach Verabredung; Chemische Technologie der Gespinstfasern-Gewinnung der Fasern: Bleicherei, Färberei, Zeugdruck, 1; Kunstseide, andere künstliche Fäden und Zelluloseprodukte, 1. — **Friedlaender**: Chemie der natürlichen Farbstoffe, 1 *g*. — **Heyl**: Pharmazeutische Chemie, anorganischer Teil, 2, organischer Teil, 2, Repetitorium, 1; Ausmittelung der Gifte, 1. — **Berl**: Elektrochemie, 2; Chemische Technologie, 2; Metallurgie, 2; Chemisch-technisches und elektrochemisches Praktikum (mit Moldenhauer), tägl. außer Sonnabend. — **Moldenhauer**: Ausgewählte Kapitel aus der chemischen Technologie, 1; Elektrochemische Übungen, 4; Anwendung der physikalischen Chemie auf chemisch-technische Prozesse, 1. — **Vaubel**: Theoretische Chemie II: Thermochemie, 1, Übungen, 3; Die Steinkohlengasindustrie, 1 *g*; Die maschinellen Hilfsmittel der chemischen Technik, $1^1/_2$. — **Sonne**: Chemische Technologie der Explosivstoffe, 2. — **Weller**: Untersuchen von Nahrungsmitteln, Genußmitteln und Gebrauchsgegenständen, 8, Übungen, 1. —

N. N.: Repetitorium der Elementar-Mathematik, 3—4; Höhere Mathematik, 3, Übungen, 2; Ausgewählte Kapitel aus der höheren Mathematik, 2. — **Horn**: Höhere Mathematik, 5, Übungen, 3; Integralgleichungen, 2—3. — **Dingeldey**: Höhere Mathematik, 6, Übungen, 3, II, 2, Übungen, 1. — **Schleiermacher**: Rechenapparate und wissenschaftliches Rechnen, 2. — **Wiener**: Darstellende Geometrie I, 4, Übungen, 6; Neuere mathematische Lehren zur Behandlung naturwissenschaftlicher und technischer Aufgaben: Ortsfunktionen und Vektorfelder, 2; Arbeiten im mathematischen Institut, 3. — **Hohenner**: Geodäsie, 4; Ausgewählte Kapitel aus der Geodäsie, 2; Geodätische Übungen I, 4, II, 4; Geodätische Ausarbeitungen, 4; Praktische Geometrie, Übungen, 4, Ausarbeitungen, 2. — **R. Müller**: Darstellende Geometrie I, 4, Übungen, 6; Reine Kinematik, 2. — **Assistenten**: Planzeichnen, 4 und 2. — **N. N.**: Technische Mechanik, 3, Übungen, 2. — **Henneberg**: Mechanik I, 6, Übungen, 2. — **Braun**: Hydraulik, 2, Übungen, 1. — **Blaess**: Ausgewählte Abschnitte aus der technischen Mechanik, 2 *g*. —

Universität Erlangen.

Wiedemann: Experimentalphysik II: Wärme, Akustik, Optik, 5; Physikalisches Anfängerpraktikum, 2; Physikalisches Halb- und Vollpraktikum, tägl. außer Sonnabend. — **Reiger**: Theoretische Physik, 4, Übungen, 1 *g*; Elektrotechnisches Praktikum, 3. — **Hauser**: Photographie, mit Übungen, 2. —

O. Fischer: Organische Experimentalchemie, 5; Praktische Übungen im Chemischen Laboratorium (mit Henrich): a) Analytisch-chemische Übungen, tägl. außer Sonnabend; b) Vollpraktikum, tägl. außer Sonnabend; Praktikum für Mediziner, 4. — **Busch**: Anorganische Chemie, unter Berücksichtigung ihrer Anwendung in der Pharmazie, 3; Chemische Technologie, anorganische Großindustrie, mit Ausflügen, 2; Chemisches Praktikum, ganz- und halbtägig, tägl.; Pharmazeutisch-chemisches Praktikum, tägl. außer Sonnabend; Übungen auf dem Gebiete der Nahrungsmittelchemie, ganz- und halbtägig, tägl. außer Sonnabend. — **Henrich**: Analytische Chemie der Metalloide: Anionen und Maßanalyse (Experimentalvorlesung zur Ergänzung des analytisch-chemischen Praktikums), 2; Spezielle Methoden der Analyse, mit Übungen in der Gasanalyse, Elektroanalyse und Spektralanalyse, 2; Physikalisch-chemisches Praktikum, 2; Repetitorium der Chemie für Kriegsteilnehmer, 2. — **Dilthey**: Organische Farbstoffe, 2. —

Noether: Einleitung in die elliptischen Funktionen, 3. — **E. Fischer**: Differential- und Integralrechnung, 5, Übungen, 2 *g*; Elemente der Zahlentheorie, 2; Einführung in die höhere Zahlentheorie, 2 *g*. — **Hartwich**: Fixsternkunde, 2; Systematische Vorführung der Einrichtungen der Sternwarte, tägl. *g*; Astronomisches Praktikum auf der Sternwarte, tägl. *g*. —

Für die Schriftleitung verantwortlich Professor Dr. P. Debye in Göttingen. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.